INNOVACIÓN, ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE

ÓSCAR ARNEDILLO BLANCO
JORGE SANZ OLIVA
 NERA

Existe un elevado consenso científico acerca de que estamos sumidos en un proceso de cambio climático cuyo origen es la actividad humana y cuyos efectos pueden ser devastadores. Este cambio climático se produce como resultado de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que capturan el calor procedente de la radiación solar.

La Unión Europea ha liderado la lucha contra el cambio climático a nivel mundial a lo largo de las últimas décadas. Para ello, se ha fijado objetivos concretos de reducción de emisiones, cada vez más exigentes, y para diferentes calendarios temporales: una reducción del 20% en 2020 con respecto a los niveles de 1990, del 40% en 2030 (actualmente en proceso de revisión a instancias de la Comisión Europea para situarse en el 55%) y emisiones netas cero (lo cual implica una descarbonización de la economía prácticamente total) en 2050.

El objetivo para el año 2050 viene marcado por la necesidad de evitar que el calentamiento global traspase el umbral por encima del cual se producirá una retroalimentación que hará que la temperatura siga incrementándose aunque se dejen de emitir GEI. Esta retroalimentación se produciría por el deshielo de los polos (que reduciría la energía solar re-

flejada al espacio), el deshielo del *permafrost* (que daría lugar a la liberación del metano allí almacenado), y el calentamiento de los mares (que incrementaría la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, que también actúa como GEI).

Desde una perspectiva tecnológica, gran parte de las herramientas para la lucha contra el cambio climático ya existen, y los esfuerzos se están orientado a reducir sus costes. Pero la lucha contra el cambio climático solamente podrá tener éxito si la estrategia de descarbonización se desarrolla con el mínimo coste posible.

TECNOLOGÍAS PARA LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO ↓

En la actualidad, el 75% de las emisiones de GEI en España proceden del consumo de energía; por tan-

to, el éxito en la lucha contra el cambio climático está ligado a nuestra capacidad para llevar a cabo actuaciones que nos permitan bien sustituir fuentes de energía primaria fósil por energías renovables, bien reducir nuestro consumo energético.

A continuación, se comentan brevemente las características de las principales tecnologías disponibles en la actualidad, así como aquéllas que podrían aportar soluciones a lo largo de los próximos años.

Tecnologías para el uso de energía final de origen renovable

Las principales tecnologías de generación de electricidad que utilizan fuentes renovables incluyen las siguientes:

- **Hidráulica:** en las centrales hidroeléctricas, el agua mueve los álabes de una turbina y la energía mecánica se convierte en electricidad. Existen instalaciones hidráulicas con y sin embalse. Las instalaciones sin embalse producen la electricidad cuando el agua discurre por sus máquinas, con independencia de la demanda de electricidad en ese momento. En contraste, las instalaciones con embalse pueden retener el agua para así producir la electricidad cuando ésta tiene mayor valor, lo cual reduce el coste total del suministro eléctrico. Existen embalses con distintas capacidades de almacenamiento, pudiendo algunos incluso almacenar agua de un año para utilizarla en un año distinto, contribuyendo de este modo a la seguridad de suministro.
- **Eólica:** en los aerogeneradores, el viento mueve los álabes de una turbina y la energía mecánica se convierte en electricidad. Existen instalaciones eólicas terrestres y marinas. Las instalaciones marinas tienden a tener un mayor número de horas de funcionamiento, gracias a que no existen obstáculos que reduzcan la velocidad del viento, lo cual hace que su producción sea mayor y más estable. Sin embargo, las instalaciones marinas implican un mayor coste de inversión y de mantenimiento, debido a su ubicación y el coste del anclaje al fondo marino. En el caso de España, el potencial eólico marino es reducido dado lo estrecho de la plataforma continental, de tal modo que se necesitan profundos y costosos anclajes para aprovechar este tipo de instalaciones.
A lo largo de los últimos años, se han venido incrementando las horas de funcionamiento de las instalaciones, gracias a mejoras de diseño y un mayor tamaño de torre que permiten aprovechar mejor el viento disponible.
- **Solar fotovoltaica (FV):** los fotones que inciden en los paneles fotovoltaicos (que pueden ser

fijos, o con uno o dos ejes) excitan electrones en placas de silicio, produciendo corriente eléctrica.

La instalación de paneles fotovoltaicos en tejados tiene como ventaja que se evita tener que transportar y distribuir la energía eléctrica desde la red de transporte hasta las viviendas, ahorrándose pérdidas de energía en el entorno de un 15-20%, pero tienen un coste de instalación que se sitúa en alrededor del doble (es decir, un 100% superior) que la instalación de paneles en *granjas solares*. Los paneles en *granjas solares* suelen tener también una mejor orientación (pues ésta no depende de la de los tejados, y suelen estar instalados sobre ejes para ajustarse constantemente a la posición del sol) y también tener un mejor mantenimiento, de modo que su producción, para un mismo panel, es también mayor. Por ello, la opción de menor coste es la instalación de paneles fotovoltaicos en *granjas solares*, y no en tejados. Esta conclusión no depende de las perspectivas de reducción del coste de los paneles, porque si se reduce el coste de los paneles que se instalan en los tejados, también se reduce el coste de los paneles en las *granjas solares*.

- **Solar térmica:** Existen dos tecnologías de instalaciones que usan el calor del sol para generar electricidad:

Tecnología de torre: la luz solar se concentra a través de múltiples espejos en un receptor que calienta el agua de una caldera; la presión del vapor mueve los álabes de la turbina y se genera electricidad.

Tecnología cilindro-parabólica: la luz del sol se concentra, a través de cilindros parabólicos, en un tubo que contiene sal o aceite fundido y que calienta agua por medio de un intercambiador de calor, produciendo vapor a presión que mueve los álabes de la turbina para generar electricidad.

Tecnología cilindro-parabólica: la luz del sol se concentra, a través de cilindros parabólicos, en un tubo que contiene sal o aceite fundido y que calienta agua por medio de un intercambiador de calor, produciendo vapor a presión que mueve los álabes de la turbina para generar electricidad.

Estas instalaciones pueden disponer de grandes tanques de aceite o sal fundida que permiten almacenar el calor y producir electricidad durante unas horas cuando el sol ha dejado de brillar. Un inconveniente de estas instalaciones es que requieren de sistemas de apoyo térmico, quemando algún tipo de combustible fósil para mantener la sal o el aceite caliente para evitar que se solidifique en los tubos o en los tanques de almacenamiento.

- Biomasa, residuos renovables y biogás: La quema de biomasa (procedente de la agricultura, de la industria o de los bosques) o biometano (obtenido a partir de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos) calienta el agua de una caldera; la presión del vapor mueve los álabes de la turbina, produciendo electricidad.

Estas instalaciones tienen como gran ventaja que los operadores pueden producir electricidad cuando la necesitan los consumidores. Sin embargo, el potencial de producción de electricidad con estas fuentes de energía está limitado por la disponibilidad de la materia prima.

Las instalaciones de generación de electricidad con fuentes de energía renovable más económicas son las fotovoltaicas y las eólicas. Son tecnologías que son ya rentables sin necesidad de subvenciones, aunque todavía existe potencial para reducir aún más sus costes o incrementar su producción (por ejemplo, mediante paneles de doble cara). En contraste, las instalaciones termosolares no tienen grandes perspectivas de reducción de costes, ya que producen electricidad con turbinas de vapor convencionales, en las cuales no cabe esperar grandes ganancias de eficiencia.

La producción eólica no tiene un perfil diario o estacional claramente definido. Sin embargo, la producción solar sí lo tiene, ya que produce durante el día y, sobre todo, durante los meses de verano. Una consecuencia es que la mayor producción solar durante el día deprimirá el precio del mercado eléctrico en las horas diurnas, y hará que las horas con el precio de electricidad más alto pasarán a ser las nocturnas y no las diurnas.

Un problema del uso de instalaciones que se alimentan con sol o viento es que su producción no tiene lugar cuando los consumidores necesitan la electricidad, sino cuando brilla el sol o sopla el viento (se dice que son tecnologías de generación «intermitentes»). Así, por ejemplo, la punta de demanda de electricidad en España se sitúa habitualmente hacia las 8-9 de las noches de invierno, cuando a esa hora no brilla el sol. Por ello será también necesario disponer de instalaciones de producción de electricidad tales como centrales hidroeléctricas de bombeo, baterías o centrales alimentadas con hidrógeno, que permitan almacenar los excedentes en momentos con elevada producción renovable para suministrar a la demanda cuando la producción renovable sea insuficiente.

Los sistemas de baterías tienen la ventaja de que el ciclo de almacenamiento y suministro de electricidad tiene una mayor eficiencia, en el entorno de 90%, mientras que las instalaciones de bombeo tienen una eficiencia del entorno del 65%. En contraste, las baterías tienen un coste de inversión muy superior (por MWh de capacidad de almacenamiento) que las instalaciones de bombeo, pero el desarrollo de las instalaciones de bombeo está limitado por la dis-

ponibilidad de emplazamientos para nuevas centrales (lo cual lleva a que los esfuerzos se concentren en ampliar la capacidad de bombeo en embalses ya existentes). Por ello, los sistemas de baterías tenderán a tener un ciclo de funcionamiento diario, cargando durante el día y produciendo por la noche, mientras que las instalaciones de bombeo tenderán a tener ciclos de funcionamiento más largos, y entrar en funcionamiento cuando la capacidad de las baterías se haya agotado.

La implantación de baterías en el sistema eléctrico tendrá como efecto una reducción del diferencial entre los precios en las horas de precio alto y las horas de precio bajo.

El coste de los sistemas de baterías y bombeo impone un límite al porcentaje de electricidad del sistema que puede provenir de fuentes de energía renovable porque, una vez que la producción de electricidad de origen renovable excede la demanda en una hora dada, invertir en más instalaciones renovables hace que no se pueda aprovechar la electricidad producida en esas horas (se dice que hay «vertidos de renovables»), reduciendo la producción efectiva de las instalaciones. Con los costes y tecnologías previstos para 2030, ese porcentaje máximo de energía renovable está en el entorno de un 70-75% de la producción total de electricidad.

Una forma de incrementar el porcentaje de electricidad que puede provenir de fuentes de energía renovable consistirá en usar la electricidad almacenada en las baterías de los vehículos eléctricos (denominado «*vehicle-to-grid*» o V2G), y promover sistemas para el control en tiempo real de los equipos de consumo en hogares, comercios e industrias de forma que la demanda se ajuste a la producción de origen renovable que haya en cada momento. Ese control podrá ser efectuado por los propios consumidores, o por sus comercializadores. Pero, en ambos casos, ordenar y coordinar todas estas fuentes de flexibilidad requerirá que los consumidores estén expuestos a precios que varíen en tiempo real, e incluso a precios distintos en distintas ubicaciones dentro de una misma zona de distribución, lo cual choca con la política de precios nacionales uniformes que se ha usado tradicionalmente dentro del sistema eléctrico español.

Hasta aquí la discusión se ha centrado en la conversión de energía primaria de origen renovable en energía eléctrica. Pero existen también opciones para el aprovechamiento de energía primaria de origen renovable en forma de energía final no eléctrica, como son los biocarburantes y la biomasa.

La combustión de biocarburantes (así como de la biomasa) también genera CO₂, pero se trata de un CO₂ que ha sido previamente extraído de la atmósfera en el transcurso de la producción de los biocarburantes, de tal modo que las emisiones netas son nulas. El biodiésel se obtiene a partir de aceites vegetales (soja, colza, palma, girasol, jatrofa, etc.) y

grasas animales (cerdo) a través de procesos industriales. El bioetanol se obtiene a partir de la fermentación de azúcares (caña, remolacha, etc.) o de almidón (obtenido a partir de cereales) y su posterior destilación. La normativa europea permite la mezcla de biocarburantes con gasóleo y gasolina fósiles hasta un porcentaje que, en 2020 y en el caso de los biocarburantes de primera generación, no podía superar el 7%. Respetando esta restricción, en España, los operadores del sector del petróleo están obligados actualmente a mezclar exactamente el 8,5 a nivel agregado (sin cuotas específicas aplicables a cada producto de forma individual). Es también posible producir biometano (también llamado biogás) a partir de la descomposición anaerobia (es decir, en un entorno sin oxígeno) de residuos orgánicos. Las dudas sobre el potencial mundial de producción de biocarburantes y los efectos negativos de los biocarburantes de primera generación (deforestación de zonas intertropicales) hacen que éstos se vean como soluciones minoritarias.

Por su parte, la biomasa puede utilizarse para la producción de electricidad (como se ha descrito) o de calor. La quema de biomasa (pellets o leña) en chimeneas, calderas individuales o comunitarias suministra calor para calefacción e incluso agua caliente sanitaria. La recogida de biomasa forestal tiene, como efecto colateral positivo, el hecho de que ayuda a reducir el riesgo de incendios. Sin embargo, su potencial de aprovechamiento es limitado, debido a la reducida disponibilidad de biomasa forestal y al coste de la logística de la recogida y del transporte de la biomasa.

Finalmente, cabe mencionar la posibilidad de usar combustibles sintéticos. Se trata, por ejemplo, de hidrógeno o de hidrocarburos (líquidos o gaseosos) producidos a partir de hidrógeno combinado con CO₂.

El hidrógeno es el combustible sintético de menor coste. Se puede producir hidrógeno directamente por medio de electrólisis a partir de electricidad producida, a su vez, con fuentes de energía renovable (denominado: hidrógeno «verde»). También se puede producir el hidrógeno partiendo de hidrocarburos, separando hidrógeno y carbono, pero el proceso libera CO₂, de tal modo que ese hidrógeno (denominado: «azul») no es neutral para el medioambiente.

El hidrógeno puede ser mezclado con gas natural para transportarlo y distribuirlo por las tuberías existentes, sin necesidad de inversiones adicionales, pero solamente hasta un determinado porcentaje de mezcla, en el entorno de un 10% en términos de energía. Sin embargo, en un sistema descarbonizado esta mezcla no es posible. La pregunta que se plantea es si debe acometerse o no un programa de inversiones para que la red gasista pueda transportar hidrógeno (convirtiendo la red de «gasoductos» en una red de «hidroductos»). El hecho de que el hidrógeno se produzca con electricidad, a lo que se suman las pérdidas de energía en el proceso de

producción y el propio coste de las instalaciones, hace que el hidrógeno sea necesariamente más caro que la electricidad. Y, dado que la electricidad permite satisfacer las mismas necesidades energéticas de los hogares que el hidrógeno, no tiene sentido desarrollar una red de *hidroductos* hasta los hogares. Dicha red solamente podría tener sentido para entregar hidrógeno en procesos industriales no electrificables, pero en estos casos será menos costoso producir el hidrógeno de forma local que fabricarlo en ubicaciones remotas para posteriormente transportarlo hasta dichas industrias.

El hidrógeno verde puede utilizarse también para producir hidrocarburos sintéticos, combinando el hidrógeno con CO₂. Estos combustibles tienen una mayor facilidad de uso, por ser similares a los hidrocarburos fósiles. Sin embargo, tienen necesariamente un coste mayor que la electricidad y que el hidrógeno, por lo que su uso se limitará a aquellas situaciones en las cuales la electricidad o el hidrógeno no sean una opción viable (por ejemplo, por su mayor densidad energética, lo cual puede viabilizar su uso para el transporte aéreo). Lógicamente, su producción debe utilizar CO₂ capturado de la atmósfera para que el uso de estos combustibles no dé lugar a una emisión neta de CO₂ a la atmósfera, lo cual incrementa aún más su coste.

La captura y almacenamiento de CO₂ (*carbon capture and storage, CCS*) consiste en separar el CO₂ emitido por la industria o la generación eléctrica en los procesos de combustión y transportarlo hasta una formación geológica profunda para su almacenamiento a largo plazo para, así, evitar que sea emitido a la atmósfera. Su mayor inconveniente tiene que ver con la limitación de disponibilidad de formaciones geológicas adecuadas y el coste del transporte del CO₂ desde su punto de emisión hasta el almacenamiento. El coste de transporte se puede evitar capturando el CO₂ directamente de la atmósfera, pero el coste de capturar el CO₂ de la atmósfera es muy superior al coste de capturarlo en el punto de emisión). Existen también dudas sobre las consecuencias que puede tener a largo plazo el almacenamiento geológico de grandes cantidades de CO₂.

En un país como España, la opción es prácticamente inviable, tanto por la escasez de emplazamientos geológicos capaces de almacenar el CO₂ en condiciones de seguridad, como por los problemas políticos y administrativos a los que daría lugar la tramitación de las autorizaciones necesarias (recuérdese el precedente del almacenamiento de gas natural denominado CASTOR, en la costa de Castellón).

Por todo ello, la captura y almacenamiento de CO₂ es vista como una opción «de último recurso» para aquellos procesos para los cuales no exista una alternativa viable libre de emisiones.

Como se deduce de todo lo anterior, la previsión es que las energías renovables con mayor potencial y

menor coste son las que producen electricidad. Sin embargo, en la actualidad solamente una cuarta parte de la energía final en España es consumida en forma de electricidad. Por ello, es preciso abordar un proceso de «electrificación» de la economía que exigirá cambios en nuestros hábitos de consumo y de producción en todos los sectores que utilizan energía.

Dentro de los hogares, un 47% del consumo de energía es para calefacción, un 20% para agua caliente sanitaria y un 7% para cocinar. El restante 26% es consumo para electrodomésticos, iluminación y refrigeración (aire acondicionado).

El consumo de calefacción y agua caliente sanitaria puede «electrificarse» mediante la instalación y uso de bombas de calor. Las bombas de calor son equipos que toman calor del exterior para transmitirlo al interior de los hogares, usando el mismo principio que usan los aparatos de aire acondicionado para enfriar los hogares, pero a la inversa. Los equipos de aire acondicionado actualmente en venta son, en realidad, bombas de calor que pueden usarse en modo «calefacción». Los modelos más utilizados extraen el calor del aire exterior y pueden entregarlo en el interior de la vivienda en forma de aire caliente (bomba de calor «aire-aire») o de agua caliente (bomba de calor «aire-agua») por medio de suelo radiante o radiadores de gran superficie.

En el pasado, las bombas de calor tenían dificultades para funcionar con temperaturas próximas a los 0°C, ya que en esas situaciones podría formarse escarcha o hielo en la unidad exterior, y tenían limitaciones para entregar agua a alta temperatura. Sin embargo, estos problemas se pueden resolver, por ejemplo, con la instalación de un calentador termoeléctrico que actúe de forma complementaria en caso de necesidad.

Dado que las bombas de calor no usan la electricidad para «producir» calor, sino que «desplazan» calor de un lugar a otro, el consumo de 1 kWh de energía eléctrica puede dar lugar a la entrega de más de 5 kWh de calor (el ratio concreto depende de la zona climática ya que la eficiencia depende de la temperatura exterior). Esto reduce el consumo total de energía final en un 80%, contribuyendo a los objetivos nacionales de eficiencia energética y a la reducción de las emisiones de CO₂. Y como parte de la energía proviene de la temperatura exterior, parte de su consumo se considera como energía de origen renovable, de tal modo que es también una tecnología para el aprovechamiento de energía renovable.

Las bombas de calor permiten, por lo tanto, reducir el consumo de energía primaria y reducir las emisiones de CO₂, además de contribuir a la producción de origen renovable. Y todo ello de forma rentable si la instalación (o al menos la preinstalación) se lleva a cabo en el momento de la construcción del edificio o de una gran reforma.

En el caso de las cocinas, la alternativa eléctrica a las de gas natural o butano son las cocinas eléctricas vitrocerámicas o de inducción. En la actualidad, las cocinas eléctricas son ya la opción preferida por los hogares.

Por lo tanto, el uso de bombas de calor y de cocinas eléctricas permitiría electrificar los hogares (y los comercios) al 100%.

Otro gran usuario de energía es el transporte. En el transporte por carretera, la solución es distinta en el transporte ligero y en el transporte pesado. En el transporte ligero o de corta distancia (pasajeros y mercancías en furgonetas) el futuro es ya el vehículo eléctrico. Su uso se generalizará en cuanto aumente la autonomía de las baterías, se reduzca un poco más su coste y se instalen puntos de recarga rápida en las vías principales. En el transporte pesado o de larga distancia por carretera (camiones), la solución óptima para descarbonizar aún no está clara. Puede ser una combinación de catenarias en vías principales y baterías para desplazamientos locales; pueden ser los gases limpios; o puede pasar por la modificación de las redes logísticas para incrementar la cuota del transporte ferroviario.

Por tanto, en el transporte pesado habrá que esperar a ver cuál será la opción de menor coste que resulte de la investigación y la innovación tecnológica.

El transporte ferroviario ya es mayoritariamente eléctrico y, gracias al tren de alta velocidad, en el caso de los pasajeros se ha convertido en una opción competitiva en precio y tiempo frente al transporte aéreo en las distancias inferiores a los 800 km.

El principal desafío del transporte ferroviario es incrementar su cuota en el transporte de mercancías (que, en el caso español es sólo del 2%, frente al 18% de la media europea). El reto es ambicioso debido a los obstáculos físicos relacionados con la orografía española (la existencia de tramos de vía con un gradiente elevado obliga a utilizar trenes cortos y, en consecuencia, con un coste unitario elevado en euros por km y por tonelada transportada), y a obstáculos derivados de deficiencias de la red (como la ausencia de *apartaderos*) y el distinto ancho de vía con respecto a Francia y el resto de Europa. Debido al elevado coste de las actuaciones que sería necesario acometer, el futuro pasa necesariamente por elegir corredores en los que la magnitud del tráfico previsto justifique las inversiones (como, por ejemplo, el denominado Corredor Mediterráneo, desde Algeciras hasta la frontera francesa).

En el transporte marítimo, la electricidad sólo parece una opción viable durante el tiempo en que los buques permanecen atracados en los puertos, y para ello habrá que ofrecer puntos de conexión eléctrica en las zonas de atraque y penalizar a los buques por las emisiones que tengan mientras permanezcan atracados (para que los armadores tengan incentivos a adaptarlos). Durante el cabotaje, probablemente el futuro sean los gases limpios o combustibles sintéticos

líquidos (por su mayor densidad energética comparado con los gases). Eso significa que habrá que adaptar tanto los barcos como los puertos para suministrar electricidad y gases/combustibles sintéticos limpios.

En la navegación aérea, la solución es más compleja debido a que las restricciones de peso y volumen obligan a usar combustibles con una alta densidad energética. En el futuro parece que podrán utilizarse aviones eléctricos para trayectos cortos (o incrementar la cuota del transporte ferroviario de alta velocidad) mientras que, para los trayectos más largos, se usarán aviones alimentados por combustibles sintéticos líquidos (fabricados a partir de electricidad renovable), biocombustibles, o combustibles fósiles cuyas emisiones se compensen por medio de la captura del CO₂ del aire y su almacenamiento a largo plazo en formaciones geológicas.

Tecnologías para el ahorro energético ↓

Las principales tecnologías que reducen el consumo energético en los hogares y en la industria son las bombas de calor, las calderas de gas de condensación, el aislamiento térmico de edificios y la cogeneración.

La bomba de calor con una eficiencia del 500% (es decir que puede entregar 5 kWh de calor consumiendo 1 kWh de energía eléctrica), reduce el consumo de energía final para calefacción en un 80%, como se ha explicado con anterioridad.

La instalación de calderas de gas de condensación permite reducir el consumo de gas de viviendas que usan calderas menos eficientes, incluyendo calderas de gas antiguas. La reducción del consumo depende de la instalación que se sustituya. La sustitución de una caldera de gas antigua por una caldera de gas de condensación reduce el consumo de calefacción en el entorno de un 10%.

Existen múltiples posibles actuaciones para el aislamiento térmico de edificios, con costes y resultados muy distintos. El coste de instalación de aislamiento es menor en el caso de la nueva obra, y los estándares de edificación en vigor ya exigen un elevado nivel de aislamiento. En viviendas existentes de baja calidad se pueden reducir de forma significativa las fugas de calor simplemente mediante la instalación de burletes en puertas y ventanas. En edificios existentes, el aislamiento térmico de menor coste se efectúa mediante la instalación de una capa aislante que se adosa al exterior del edificio como barrera térmica (aislamiento tipo SATE), junto con la instalación de ventanas de doble capa y rotura del puente térmico, evitando la transmisión del calor hacia el exterior o el interior de la vivienda. También incluye la inyección de material aislante en huecos (paredes y ventanas) y tejados. Este tipo de aislamiento permite reducir el consumo de energía para calefacción en un 50%.

La instalación de burletes y similares son actuaciones de muy bajo coste y muy rentables. No así el aislamiento de paredes, ventanas y tejados. Los análisis de rentabilidad apuntan a que, si se tiene en cuenta el coste de financiación, cuando se utiliza para calefacción una caldera de gas, la inversión en estos aislamientos no se puede recuperar a lo largo de los 30 años de su vida útil.

Como el aislamiento reduce (pero no evita) las emisiones de CO₂ si se sigue utilizando el gas natural como fuente de energía para calefacción, el cumplimiento de los objetivos de descarbonización a 2050 exige necesariamente que los hogares instalen bombas de calor. Y, con bombas de calor, el valor de los ahorros de energía logrados con el aislamiento es menor y ya no será posible recuperar la inversión en aislamiento a lo largo de 30 años.

En el año 2050 (o antes), la previsión es que la electricidad sea 100% de origen renovable, lo cual significa que el uso de bombas de calor para calefacción no conllevará emisiones de CO₂. Y, si las viviendas deberán disponer necesariamente de bombas de calor, carece de sentido plantear el aislamiento de dichas viviendas para reducir las emisiones.

Por último, la cogeneración consiste en utilizar el calor residual que resulta de la producción de electricidad en una central de generación que quema fuel o gas natural para provecharlo en un proceso industrial o para la calefacción de barrios (*district heating*), evitando así tener que quemar combustible para generar el calor que necesitan la industria o los hogares. Tiene sentido seguir aprovechando la cogeneración en el entorno industrial durante la transición a una economía descarbonizadas, pero las necesidades de calor en España son, por lo general, demasiado pequeñas como para justificar las inversiones necesarias para la calefacción de barrios.

EL PROBLEMA DE LA ELECCIÓN DE INSTRUMENTOS ↓

Como se ha visto, existe una gran diversidad de instrumentos para la lucha contra el cambio climático. Algunos son complementarios entre sí (por ejemplo, la inversión en instalaciones eólicas y fotovoltaicas que usan energía renovable para producir electricidad, y la bomba de calor que usa electricidad para calentar los hogares) mientras que otros son sustitutivos (por ejemplo, la inversión en aislamiento térmico versus bombas de calor).

Con respecto a la producción de energía con fuentes renovables, existe un amplio consenso en el sentido de que las tecnologías que convierten energía primaria renovable en energía eléctrica (y, dentro de estas, las instalaciones eólicas y fotovoltaica) son las que tienen un mayor potencial y un menor coste. Aunque también se utilizarán biocombustibles y combustibles sintéticos, los primeros tienen un potencial limitado y los segundos tendrán un coste superior a la electricidad, ya que la electricidad es un insumo

para su producción. Por ello, los biocombustibles y los combustibles sintéticos se utilizarán en aquellos nichos de mercado donde su mayor densidad energética compense su mayor coste. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en el sector del transporte aéreo, transporte pesado o de larga distancia, pero no en los hogares (que podrán usar bombas de calor para la calefacción y el agua caliente sanitaria).

En 2030 es previsible que un 70-75% de la producción de electricidad en España provenga de instalaciones alimentadas con fuentes de energía renovable, principalmente eólicas y fotovoltaicas, aunque para ello será necesario invertir en instalaciones de bombeo y baterías. El mix de capacidad de cada una de estas tecnologías, y su nivel de penetración más allá de 2030, dependerá de sus respectivos costes y eficiencias, pero también de la capacidad de las baterías y los bombeos, la participación de los vehículos eléctricos en el mercado eléctrico, y la flexibilidad de la demanda de electricidad.

La participación de los vehículos eléctricos en el mercado eléctrico y la flexibilidad de la demanda de electricidad dependerá de las señales de precios que reciban los consumidores, ya que éstos no tendrán incentivos a dejar que el operador del sistema o sus comercializadores controlen la carga de las baterías de sus vehículos o sus equipos de consumo si pagan un precio fijo por su electricidad. Y las decisiones que tomen no serán coherentes con un suministro de mínimo coste si las señales de precio que reciben no reflejan el valor real de la energía en cada momento y en cada ubicación dentro de la red de transporte y de distribución.

En los edificios, existen actuaciones de bajo coste (por ejemplo, burletes) que permiten ahorrar de forma eficiente, pero para conseguir reducciones significativas en el consumo de energía deberán acometerse otras actuaciones:

- La instalación de paneles fotovoltaicos en los tejados (autoconsumo) es una opción que resulta actualmente atractiva para los consumidores, pero solamente porque sus facturas eléctricas incluyen impuestos y costes ajenos al suministro (fundamentalmente costes de los apoyos a las energías renovables) que multiplican por dos el coste del suministro eléctrico y de cuyo pago se libra el autoconsumidor. Desde la perspectiva del conjunto de la sociedad, sin embargo, el autoconsumo representa un despilfarro de recursos. El autoconsumo tiene como ventaja con respecto a las *granjas solares* el hecho de que permite ahorrar un 15-20% de energía en concepto de pérdidas en las redes. Sin embargo, el autoconsumo implica incurrir en un sobre coste muy superior (en el entorno del 100%) por el mayor coste de instalación de los paneles en los tejados comparado con su instalación en granjas solares. A esto se añade que la misma potencia de paneles fotovoltaicos instalados en granjas solares

produce más electricidad que si es instalada en tejados, por la mejor orientación y mantenimiento de los paneles en las granjas solares.

- Con respecto al aislamiento de viviendas, éste permite un ahorro en el entorno del 50% en el consumo de energía final para calefacción y la misma reducción en las emisiones de CO₂. Si la vivienda usa caldera de gas, el coste de la inversión solo se recupera en un horizonte de 30 años si no se tiene en cuenta el coste de financiación. Pero, en cualquier caso, el aislamiento por sí solo es insuficiente para alcanzar los objetivos de descarbonización en el horizonte 2050, lo cual significa que las viviendas deberán instalar necesariamente bombas de calor antes de ese año. Esto reduce su consumo de energía final para calefacción en un 80%, de tal modo que los hogares que inviertan en actuaciones de aislamiento en realidad no podrán recuperar su inversión.
- En nuevas construcciones, la mejor solución para reducir la factura energética y contribuir a la lucha contra el cambio climático es la bomba de calor de tipo «aire-agua» con suelo radiante o con grandes radiadores. Es probable que, de forma progresiva, estos sistemas acaben instalados en todas las viviendas a medida que se construyan viviendas nuevas (o incluso, cuando se acometan grandes reformas en viviendas existentes).
- En las viviendas existentes, la alternativa a las calderas de diésel, fuelóleo y gas natural (todavía queda alguna caldera de carbón) de menor coste y con menores emisiones es la bomba de calor «aire-aire». Desde hace ya varios años, los aparatos de aire acondicionado son en realidad bombas de calor que pueden proporcionar no solamente frío sino también calor, y con un coste inferior al coste de calefacción con caldera de gas, con la ventaja de que el uso de la bomba de calor contribuye además a la lucha contra el cambio climático. Por ello, con la excepción de aquellas zonas climáticas con muy bajas temperaturas en invierno (donde la eficiencia de las bombas de calor se reduce), las inversiones en aislamiento implican un despilfarro de recursos.

En la industria, la estrategia energética a seguir en el contexto de la lucha contra el cambio climático dependerá de cada proceso industrial. Los procesos industriales que sean electrificables a un coste razonable, optarán por esta opción. Sin embargo, los procesos que necesiten muy altas temperaturas (por ejemplo, en la fabricación de productos cerámicos) necesitarán gases sintéticos producidos con electricidad renovable. También será necesario identificar soluciones para aquellos procesos que requieren quemar carbón (tales como la fabricación de acero en alto horno) o que dan lugar a la emisión de CO₂ (tales como la fabricación de cemento).

Dada la diversidad y complejidad de los procesos industriales, la descarbonización de la industria no puede venir de la mano de una estrategia de subvenciones discrecionales puesta en marcha por las Administraciones Públicas y basada en elegir procesos ganadores frente a procesos perdedores. Dicha estrategia condena a la descarbonización a su fracaso por el elevado coste derivado de los errores que, inevitablemente, cometerán los diferentes gobiernos.

La descarbonización de la industria a mínimo coste pasa necesariamente por que los precios de los diferentes insumos energéticos incorporen los costes ambientales de las emisiones de gases contaminantes asociadas y den las señales adecuadas para que las empresas adopten las decisiones de inversión que resulten más rentables (y, por tanto, menos onerosas para los consumidores de sus productos). Para ello, será preciso abordar una reforma fiscal de modo que los impuestos de los productos energéticos se fijen en base a su impacto medioambiental y no, como ha ocurrido hasta ahora, en base a las necesidades recaudatorias del Estado.

En el sector del transporte, la electricidad se configura como la opción óptima para turismos y vehículos de transporte ligero. Sin embargo, queda por ver cuál es la configuración óptima para las recargas. Por una parte, disponer de punto de recarga en una plaza de garaje propia resultará muy cómodo para los usuarios. Sin embargo, esos puntos de recarga tendrán una utilización muy baja, lo cual implicará que el coste del punto de recarga se deberá repartir entre relativamente pocos kWh recargados. Además, mientras que actualmente el precio de la electricidad es menor por la noche, la producción de electricidad con instalaciones que se alimentan de energía solar hará que en pocos años el precio más bajo será durante el día y el precio más alto será durante la noche, incrementando así también el coste de las recargas nocturnas. Por otra parte, una gran parte de propietarios de vehículos no disponen de plaza de garaje, por lo que será necesario desarrollar una red de puntos de recarga ultrarrápidos para que se trate de una opción viable para estos usuarios. Pero los consumidores serán reacios a usar los puntos de recarga ultrarrápidos si, como ocurre en la actualidad, dichas recargas degradan las baterías. Las preferencias de los consumidores, la rapidez de las recargas, el nivel de degradación asociado a las recargas rápidas, y el coste de los puntos de recarga determinarán cómo se efectuarán las recargas.

Medidas regulatorias pendientes ▾

Como se ha visto, el desarrollo tecnológico proporciona múltiples instrumentos para descarbonizar; pero no todos son igualmente eficientes ni tienen el mismo recorrido (potencial de reducción de costes) a lo largo de los próximos años. El coste de la lucha contra el cambio climático depende de la combinación de instrumentos que se acabe adoptando.

Si se opta por actuaciones que no son las más eficientes (es decir, las que implican un menor coste por tonelada de CO₂ evitada), el bienestar de los consumidores se resentirá porque habrá que dedicar más recursos a la lucha contra el cambio climático que lo que sería, en realidad, necesario. El resultado será que se deberán reducir los recursos que se pueden usar para otros fines. Pero además se corre el riesgo de que el consiguiente incremento en el coste de las facturas energéticas de los hogares (resultado de decisiones ineficientes) reduzca el apoyo social a las medidas de lucha contra el cambio climático.

Por ello, la lucha contra el cambio climático no implica solamente promover inversiones que reducen las emisiones, sino que se debe asegurar que la combinación de instrumentos seleccionada tenga el menor coste para los ciudadanos y, por tanto, el menor impacto negativo sobre su bienestar.

Para comparar instrumentos, bastaría con comparar lo que cuesta evitar una tonelada de CO₂ con cada instrumento y dar prioridad a las actuaciones de menor coste. Para ello, hay que dividir el sobre coste de cada actuación por las toneladas de CO₂ que dicha actuación evita. La combinación óptima de instrumentos será distinta en cada zona en función de sus características (por ejemplo, la disponibilidad de viento o sol, la temperatura ...).

A continuación, se discuten algunas medidas que serían necesarias para garantizar que la estrategia se acometa al menos coste posible para la sociedad.

Las subvenciones son el instrumento preferido por las Administraciones Públicas para canalizar la estrategia de descarbonización en nuestro país. Se materializan a través de apoyos a cualquier tipo de actuación considerada «verde», tanto destinados a la promoción de las energías renovables como de ahorro energético. Y, hasta ahora, se han impulsado con escaso o nulo esfuerzo de coordinación.

El principal problema de las subvenciones es que las Administraciones Públicas pueden no elegir las tecnologías de menor coste. La experiencia hasta la fecha demuestra que no siempre se elige el instrumento de descarbonización más eficiente (por ejemplo, el Gobierno está apostando por subvencionar el aislamiento térmico de edificios o la sustitución de calderas de gasóleo por calderas de gas, a pesar de que la bomba de calor evita emisiones de CO₂ a un coste unitario significativamente menor). Otro problema es que se promueven inversiones masivas en tecnologías no maduras con costes elevados (como ocurrió con la solar en los años 2007-2010, y que ha llevado a España a tener unas tarifas eléctricas que se encuentran entre las más caras de Europa) o que son caras y no tienen perspectivas de mejora significativa de costes.

Además, existe el riesgo de que el Gobierno determine los instrumentos a los cuales apoyar no con el objetivo de optimizar el impacto de gasto, sino con fines políticos o electorales, en detrimento de la eficacia en la lucha contra el cambio climático.

Por ello, es necesario que las medidas que se adopten para la lucha contra el cambio climático sean tecnológicamente neutras. Las principales medidas, que se detallan a continuación, son (1) la reforma de la fiscalidad de los productos energéticos, (2) la reforma de la financiación de las energías renovables, y (3) la racionalización de la política de subvenciones.

La principal medida que impulsaría la descarbonización de la forma más eficiente sería la reforma de la fiscalidad de los productos energéticos. Tal y como puso de manifiesto la Comisión de Expertos de Transición Energética en 2018, la imposición actual no tiene fundamentación ambiental alguna y sólo responde a las necesidades recaudatorias de la Hacienda Pública en cada momento. El resultado es una fiscalidad que penaliza el consumo de electricidad (a pesar de que el 60% de la producción de electricidad no emite de CO₂) y que subvenciona implícitamente el consumo de combustibles fósiles (pues su precio no recoge todos los costes incrementales asociados a su consumo, incluyendo entre ellos el uso de las infraestructuras cuya construcción inducen y el daño ambiental).

La Comisión de Expertos propuso sustituir la fiscalidad actual por impuestos que graven cada producto energético en proporción a sus emisiones de gases contaminantes (CO₂, SO₂ y NO_x) y partículas sólidas a la atmósfera, con desgravaciones iguales al precio del CO₂ en el ETS para las empresas participantes en dicho mercado, para evitar gravar sus emisiones dos veces.

La Comisión de Expertos también propuso que la Reforma Fiscal se acompañara de una reforma de la financiación de las energías renovables basada en el principio de que su sobrecoste debe trasladarse a los agentes económicos que lo inducen. Dicho sobrecoste se corresponde con la subvención que estas plantas perciben por encima del precio del mercado.

El Reino de España asumió con la Unión Europea el objetivo de que, en 2020, el 20% de todo el consumo de energía final habría de ser de origen renovable (para 2030, el PNIEC ha elevado este compromiso al 42%). La forma en que se definía la obligación hace que todo consumidor de energía final sea inductor de inversiones en renovables. Por tanto, los sobrecostes de las renovables han de ser financiados por todos los consumidores de energía final en proporción al peso de cada producto en la demanda de energía final: 24% en el caso de la electricidad, 16% en el caso del gas y 51% en el caso de los derivados del petróleo. Sin embargo, la realidad es muy distinta: la electricidad soporta en la

actualidad con el 88% de las primas (que se elevan a 5.000 M€/año; 7.000 M€/año si incluimos también la cogeneración y los residuos), frente al 4% del gas natural y el 7% de los derivados del petróleo (que soportan los sobrecostes de las mezclas obligatorias de biocarburantes).

Haciéndose eco de esta propuesta, en diciembre de 2020 el Gobierno lanzó a trámite de audiencia un borrador de anteproyecto de Ley que plantea que todos los comercializadores de productos energéticos contribuyan a la financiación de las primas a las renovables y a la cogeneración en proporción a sus ventas de energía final. La medida puede suponer una rebaja significativa en la factura eléctrica y un paso decisivo en el proceso de descarbonización.

Pero la descarbonización no será posible sin un tratamiento especial para los colectivos considerados vulnerables que garantice una *transición justa*. En este aspecto, la Comisión de Expertos propuso:

- en el caso de los hogares vulnerables, se proponía crear un bono térmico y reforzar el bono eléctrico;
- en el caso de los profesionales del transporte, agricultura, ganadería y pesca (consumidores, respectivamente, de gasóleo A y B), se proponía eximirlos inicialmente, congelando su fiscalidad a los niveles actuales, para después eliminar la exención y utilizar compensaciones monetarias no distorsionadoras; y
- en el caso de la industria intensiva en consumo de energía y sometida a competencia internacional, se proponía inicialmente eximirlos del pago del impuesto a las emisiones de CO₂ para evitar su deslocalización (efecto «*fuga de carbono*»). El motivo es que el CO₂ produce un daño global, de modo que, si como consecuencia del nuevo impuesto la industria se deslocaliza hacia países sin control de emisiones, seguirá contribuyendo desde allí al calentamiento del Planeta (cuyos efectos medioambientales negativos seguiríamos sufriendo en España), al tiempo que perderíamos PIB y empleo.

A medio-largo plazo, se proponía eliminar las exenciones y poner en marcha un sistema de ajustes en frontera (*carbon border adjustment*) destinado a gravar/bonificar el CO₂ emitido por los productos importados/exportados en la UE (esta propuesta es actualmente objeto de análisis por parte de la Comisión Europea).

Si las Administraciones Públicas desean seguir utilizando la política de gasto para justificar sus compromisos con la descarbonización, sería importante mejorar la eficiencia de dicha estrategia poniendo fin a las subvenciones destinadas a actuaciones que descarbonizan a costes muy elevados o que ni siquiera descarbonizan (caso de las bicicletas financiadas con recursos municipales (1)), y racionalizar

la política de subvenciones utilizando mecanismos que permitan discriminar a favor de los instrumentos que más aportan a la descarbonización. Para ello bastaría, por ejemplo, con pagar una subvención idéntica a todas las actuaciones, definida en términos de «euros por tonelada de CO₂ evitada». De este modo, cada consumidor escogerá aquella actuación o combinación de actuaciones que lleven a reducir las emisiones y cumplir con los objetivos de lucha contra el cambio climático con el menor coste para la sociedad.

Otras medidas de menor calado, pero también necesarias para la lucha contra el cambio climático incluyen:

- Proporcionar mejor información a los consumidores mediante las etiquetas de eficiencia energética. El consumidor sabe que una clasificación «A» es mejor que «B» o «C» pero no sabe cuantificar el valor de los ahorros que se derivan de elegir un etiquetado u otro. Sería deseable que, en el futuro, la etiqueta indicara el ahorro estimado, en euros/año, de usar un equipo con una clasificación a otra.
- Impulsar el despliegue de puntos de recarga ultra rápida en las vías principales, complementando la obligación de instalación en las estaciones de servicio más grandes, incluida en la Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética. El objetivo es que los usuarios de vehículos eléctricos puedan confiar en encontrar puntos de recarga disponibles si hacen trayectos largos, y puedan hacer la recarga en un plazo de tiempo medido en minutos, y no horas.
- Comprobar que no se abusa de las exenciones a la obligación de poner contadores individuales de calefacción en las viviendas que cuentan con calderas comunitarias (de gasóleo, gas natural o fuelóleo). En ausencia de dichos contadores individuales, los consumidores no tienen incentivos a controlar la temperatura de sus radiadores, sino que regulan la temperatura de sus viviendas simplemente abriendo las ventanas. El *Real Decreto 736/2020* exime de esta obligación a las viviendas en las que la inversión no sea técnicamente viable o no sea rentable; pero el análisis se deja en manos de las empresas responsables del mantenimiento de la caldera, que puede ser filial de la misma empresa que suministra el combustible fósil, con el consiguiente conflicto de intereses.
- Exigir la preinstalación de suelo radiante para el uso de bombas de calor en viviendas nuevas y en el caso de grandes reformas. Las bombas de calor son un elemento esencial de la estrategia de lucha contra el cambio climático, pero los consumidores son reacios a usar las bombas de calor «aire-aire», que son de más fácil instalación, por la percepción de que proporcionan un calor con un menor nivel de confort, mientras

que el coste de instalar suelo radiante (para usar bombas de calor «aire-agua») es elevado si no es en el contexto de una obra nueva o de una gran reforma. La obligación de preinstalación de suelo radiante en viviendas nuevas y en el caso de grandes reformas reduce las barreras a la adopción de unos equipos (las bombas de calor) sin los cuales no será posible alcanzar la neutralidad en emisiones.

CONCLUSIONES ¶

A lo largo de las últimas décadas, la creciente concienciación sobre las consecuencias del cambio climático ha promovido ingentes inversiones en investigación y desarrollo de tecnologías que permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas tecnologías permiten:

- transformar energía de origen renovable (eólica, solar, hidráulica, etc.) en energía que pueden usar los consumidores (principalmente electricidad, pero también combustibles sintéticos o biocombustibles),
- almacenar energía eléctrica de modo que se compense la intermitencia de las fuentes de energía renovable y sea posible ajustar el suministro de electricidad a las pautas de consumo de los consumidores finales,
- usar la electricidad como fuente de energía en usos en los cuales antes era demasiado costoso o no era viable (bombas de calor para calefacción, o vehículos eléctricos para transporte),
- reducir el consumo de energía (mediante aislamiento térmico o uso de bombas de calor), y
- capturar y almacenar el CO₂ cuyas emisiones no se puedan evitar o donde el coste de evitarlas sea mayor que el coste de la captura y almacenamiento.

Las tecnologías eólica y fotovoltaica son las más prometedoras en cuanto a su potencial para producir energía final a partir de energía primaria renovable. Se trata de tecnologías replicables y con costes que ya son competitivos, pudiendo llegar a cubrir un 70-75% de la demanda de electricidad sin subvenciones. En contraste, los combustibles sintéticos tendrán un mayor coste porque su producción implica consumir electricidad, mientras que los biocombustibles tendrán una capacidad de producción limitada.

Existen múltiples combinaciones de instrumentos para alcanzar los objetivos de reducción de las emisiones marcados para 2030, apoyándose más o menos en la adaptación de gasoductos para poder mezclar hidrogeno con gas natural, la sustitución de calderas por otras más eficientes, el aislamiento de edificios, etc. Sin embargo, dado que se trata de inversiones con largos periodos de recuperación, es necesario pensar más allá de 2030. El objetivo de la

Unión Europea, que compromete a España, es tener una economía neutra en carbono no más tarde del año 2050. Esto obliga a plantearse el problema no en términos de «cómo cumplir con los objetivos de 2030 a mínimo coste», sino en términos de «cómo cumplir con los objetivos de 2030 a mínimo coste *dado que en 2050 el objetivo es tener una economía neutra en emisiones de gases de efecto invernadero*».

Tener como objetivo una economía neutra en carbono restringe las opciones disponibles. Por ejemplo, para alcanzar ese objetivo será necesario que en 2050 el 100% de las viviendas disponga de bombas de calor, ya que ésta es claramente la tecnología de calor libre de emisiones de menor coste. Y dado que la instalación de suelo radiante tiene un coste muy inferior en el contexto de obras nuevas o grandes reformas, es necesario imponer desde ya la obligación de preinstalar sistemas de suelo radiante en obras nuevas y grandes reformas para que en 2050 todas las viviendas puedan usar bombas de calor. Por otra parte, los nuevos equipos de bomba de calor que se instalarán reducen el consumo de energía final para calefacción en un 80%, lo cual reduce en ese mismo porcentaje los ahorros derivados del aislamiento térmico de edificios. Así, mientras que si únicamente se tiene en cuenta el horizonte 2030 el aislamiento térmico de edificios puede parecer una estrategia viable para la reducción de las emisiones, si se tiene en cuenta que antes del 2050 todos los edificios deberán disponer de bomba de calor, se reducen los ahorros derivados del aislamiento térmico, y éste deja de tener sentido excepto en climas muy fríos.

Otra consecuencia del uso masivo de bombas de calor, que usan electricidad, es que ya no tendrá sentido disponer de una red de gasoductos que suministre gas natural a los hogares (ni tampoco hidrógeno, combustibles sintéticos, o gases renovables). Por lo tanto, el análisis del 2030 como punto intermedio para alcanzar el objetivo de 2050 revela que carece de sentido acometer actuaciones en los gasoductos existentes para que puedan transportar hidrógeno hasta los hogares. Tales inversiones, al igual que las inversiones en aislamiento térmico de edificios, acabarán revelándose como un despilfarro de recursos.

Así, existen algunas grandes líneas estratégicas que son claramente superiores, pero existen también importantes incertidumbres, como por ejemplo: el mix de instalaciones eólicas y fotovoltaicas; el mix de grandes baterías e instalaciones de bombeos versus baterías de vehículos eléctricos y flexibilidad de la demanda; la solución al transporte pesado de larga distancia por tierra, mar y aire, y la solución a múltiples procesos industriales para los cuales actualmente no existe una solución viable para reducir o evitar las emisiones. Además, la solución óptima puede depender de las circunstancias concretas de los consumidores. El abanico de actuaciones y de

circunstancias es demasiado amplio y diverso como para ser planificado de forma centralizada por un gobierno.

Si la estrategia de descarbonización no se lleva a cabo con el mínimo coste, no solamente se incrementará innecesariamente el coste de la lucha contra el cambio climático, sino que se correrá el riesgo de provocar el rechazo social, rechazo que podrá convertirse en un obstáculo para la propia lucha contra el cambio climático. Por ello, la minimización del coste de la transición energética es clave para que ésta tenga éxito.

En este contexto, es de vital importancia que las medidas regulatorias permitan abordar el proceso de descarbonización al mínimo coste para los ciudadanos. Por ello es esencial que se aborde, cuanto antes, una reforma fiscal medioambiental que asegure que los precios de la energía no estén distorsionados y que reflejen los costes medioambientales que cada fuente de energía conlleva, y que las subvenciones que se ofrezcan a cada una de las actuaciones sean proporcionales a la reducción de las emisiones que resulte de dichas actuaciones, sin discriminación entre tecnologías.

NOTAS ↓

- [1] Los usuarios de las bicicletas mayoritariamente no abandonan el transporte privado sino el público (que, a pesar de la menor demanda, no reduce su frecuencia). Al mismo tiempo, la gestión de las bicicletas -traslado entre puntos de carga y reparaciones- obliga a utilizar vehículos pesados (furgonetas o camionetas) que consumen gasóleo e incrementan las emisiones de CO2 frente al escenario contrafactual en el que las bicicletas municipales no existen.