

PAPELES DE ECONOMÍA ESPAÑOLA

EL FUTURO DE LA ENERGÍA RESÚMENES EJECUTIVOS



El texto íntegro del contenido de este monográfico, puede descargarlo de forma gratuita en la página web de Funcas: <https://www.funcas.es/revista/el-futuro-de-la-energia/>

«El futuro de la energía»

Coordinado por Pedro Linares Llamas

SUMARIO

COLABORACIONES

Análisis de escenarios energéticos para España:	3	<i>Antonio F. Rodríguez Matas y Pedro Linares Llamas</i>
El futuro del petróleo y el gas natural en escenarios globales de rápida descarbonización:	5	<i>Jorge Blázquez y José M.^a Martín-Moreno</i>
¿Cuál será el coste de las tecnologías de generación eléctrica renovable en el futuro?:	7	<i>Pablo del Río y Christoph P. Kiefer</i>
Estrategias nacionales sobre el hidrógeno: elementos de diseño comunes y lecciones aprendidas:	9	<i>Santiago Serna Timo Gerres y Rafael Cossent</i>
Análisis de las necesidades de almacenamiento eléctrico de España en el horizonte 2030:	11	<i>Juan José Valentín Vírveda José Pablo Chaves Ávila Pedro Linares Llamas y Andrés Ramos Galán</i>
El futuro de las redes eléctricas inteligentes:	13	<i>Miguel Ángel Sánchez Fornié Javier Matanza y Rafael Cossent</i>
¿Qué falta en el diseño de los mercados y las tarifas de electricidad de la Unión Europea para asegurar un suministro fiable y asequible en la transición energética?:	15	<i>Pablo Rodilla y Tomás Gómez</i>
El papel de la fiscalidad medioambiental en el ámbito energético: reflexiones para España:	17	<i>Marta Villar Ezcurra y Xavier Labandeira Villot</i>

La importancia de la eficiencia energética: evidencia reciente para España:	19	<i>Ibon Galarraga Elena López-Bernabé Cristina Ojeda María del Mar Solà y Amaia de Ayala</i>
Misión europea de ciudades hacia la neutralidad climática: una oportunidad para la transición energética en España:	23	<i>Julio Lumbreras Valentina Oquendo-Di Cosola Nayla Saniour Jaime Moreno-Serna Martín Sanz Tomás Conde y Luis López-Cózar</i>
La transición energética debe ser justa: tres grandes temas:	25	<i>Víctor Viñuales Edo Cecilia Foronda Díez Carlos Pesqué Castillo y Javier Tobías González</i>
El acceso universal a la energía:	27	<i>Eduardo Sánchez Jacob Santos José Díaz Pastor Pablo Dueñas Martínez Julio Eisman Valdés Fernando de Cuadra García Andrés González García e Ignacio Pérez Arriaga</i>
La UE rumbo a la neutralidad climática: con brújula y deriva:	29	<i>Lara Lázaro Touza y Gonzalo Escribano Francés</i>

ANÁLISIS DE ESCENARIOS ENERGÉTICOS PARA ESPAÑA

Antonio F. RODRÍGUEZ MATAS

Pedro LINARES LLAMAS

Instituto de Investigación Tecnológica (Universidad Pontificia Comillas)

LA planificación energética no es una tarea sencilla. El largo plazo de las inversiones asociadas a estos negocios, fundamentalmente infraestructuras con una elevada vida útil y alto coste inicial, se enfrenta a una creciente incertidumbre. Y la complejidad está aumentando en los últimos tiempos, fundamentalmente debido a dos aspectos.

Por un lado, el Acuerdo de París tiene como objetivo mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2 °C, lo que hace imprescindible una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero sin precedentes en la historia. Esto hace que la transición energética sea indispensable para descarbonizar paulatinamente el suministro energético mediante el desarrollo de nuevas fuentes bajas en carbono. Así la creciente competitividad de las energías renovables, en particular la energía eólica y la energía solar, puede crear un cambio radical tanto en la contribución de las fuentes energéticas convencionales como en la configuración de las redes de electricidad y gas necesarias para transportarlas.

Por otro lado, los desarrollos tecnológicos en el lado de la demanda de energía (entre los que se pueden señalar la creciente urbanización, digitalización y electrificación de nuestras economías, el uso de nuevos vectores energéticos como el hidrógeno o el almacenamiento, o el aumento de la eficiencia energética), así como los cambios de conducta de los consumidores o los desplazamientos en el peso económico de los distintos países, también pueden resultar en cambios disruptivos en los sistemas tradicionales.

Evidentemente, en los dos aspectos citados influirá también el desarrollo de la política nacional, regional o incluso de nivel global, que condicionará en gran medida las posibilidades de los cambios mencionados. Y todo ello, en un contexto en el que las interrelaciones entre sectores, mediadas de forma creciente por el cambio climático, pueden ser cada vez más relevantes (un buen ejemplo es el nexo agua-energía-alimentación), haciendo de esta forma cada vez más complejo el análisis de la oferta y la demanda de energía a medio y largo plazo.

Cuando se combinan todos estos elementos en forma de escenarios coherentes para el futuro, podemos encontrarnos situaciones drásticamente distintas, ya adelantadas por distintas voces. Desde escenarios de abundancia energética basada en las energías fósiles con captura de CO₂, hasta otros de descarbonización profunda de nuestras economías basada en fuentes renovables. Desde situaciones de gran aumento del bienestar global, hasta otras de estancamiento económico y vuelta a políticas de aislamiento y de bloques. Desde modelos de negocio para la energía totalmente centralizados a otros completamente distribuidos. Evidentemente, cada uno de estos escenarios tiene consecuencias radicalmente distintas para el sector energético.

Este artículo tiene como objetivo recopilar las distintas visiones del futuro del sector energético publicadas por distintas organizaciones, tanto a nivel global como nacional. El alcance temporal de la mayoría de estos escenarios es a 2030 y 2050, lo que permite tener un equilibrio entre el realismo impuesto por las inversiones y tecnologías existentes y las posibilidades, más inciertas, que se abren a más largo plazo.

En cuanto al ámbito geográfico, en primer lugar, se incluyen una serie de escenarios globales para obtener un entendimiento generalizado del sector energético a nivel mundial. Esto es imprescindible, dado que los mercados energéticos tienen dinámicas que sólo pueden explicarse a escala global. Posteriormente, por

el interés de conocer las particularidades del sector a nivel nacional, se incluye España como caso de estudio en detalle. El análisis aquí realizado trata de arrojar luz sobre aquellos aspectos clave que van a influir en las condiciones del sector energético español de cara a la definición de su estrategia a largo plazo, y también a un mejor entendimiento de los grandes retos y oportunidades del sector energético a futuro.

El estudio de escenarios energéticos nos permite realizar análisis cuantitativos y cualitativos sobre la mejor forma de actuar y tomar decisiones ante este desafío. Y aunque los informes analizados construyan escenarios basándose en planteamientos y filosofías diferentes, se pueden extraer varias conclusiones que son transversales a la mayoría de ellos.

En primer lugar, la transición va a requerir un volumen ingente de recursos económicos para que se pueda llevar a cabo. Esto es algo fundamental, y va a requerir la movilización de fondos e inversiones, tanto por parte del sector privado como público.

En cuanto al despliegue tecnológico, las energías renovables deberán expandirse de forma muy importante, así como la electrificación de diferentes sectores de la economía, especialmente la movilidad (con el vehículo eléctrico como protagonista) y los sistemas de climatización. Las tecnologías de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS) también pueden tener un papel fundamental en el abatimiento de aquellas emisiones para las que aún no hay ninguna alternativa tecnológica. Además, nuevos vectores entrarán con fuerza en la matriz energética: se espera que la biomasa y el hidrógeno renovable se comiencen a usar a gran escala.

Por otra parte, la participación ciudadana también será esencial. Los cambios de comportamiento y hábitos deben ser uno de los motores que muevan la descarbonización. El cambio modal en el transporte y otras formas más responsables de consumo serán clave.

Cuando estudiamos las hojas de ruta para España, podemos concluir que la ambición climática de nuestro país es elevada. Esto también se debe a que las regiones más desarrolladas, como Europa, tienen mayor responsabilidad en las emisiones históricas, y por tanto deben asumir un mayor esfuerzo. El principal objetivo de España es el de ser una economía neutra en carbono para el año 2050, para lo que deberá afrontar una serie de retos tecnológicos y sociales. Entre ellos, destacan: el abandono de los combustibles fósiles, y su sustitución por energías renovables; la electrificación de al menos la mitad de la economía; el desarrollo de nuevos vectores energéticos, como el hidrógeno renovable y otros combustibles renovables; y la transformación de sectores económicos clave, como el transporte, los edificios o la industria.

EL FUTURO DEL PETRÓLEO Y EL GAS NATURAL EN ESCENARIOS GLOBALES DE RÁPIDA DESCARBONIZACIÓN

Jorge BLÁZQUEZ

Oxford Institute for Energy Studies

José M.^a MARTÍN-MORENO (*)

Universidade de Vigo

La guerra en Ucrania, que comenzó en febrero de 2022, ha puesto el foco mediático y político en los mercados energéticos y en la seguridad energética. A corto plazo, el debate sobre la descarbonización de la economía y el impacto sobre el cambio climático global parece haber pasado a segundo plano. Si bien es cierto que en octubre de 2022 la Agencia Internacional de la Energía sugería que las políticas implementadas a raíz de la crisis en Ucrania iban a acelerar la transición energética. A largo plazo la sostenibilidad del sistema energético sigue siendo el tema más relevante para los mercados energéticos. De hecho, alrededor del 90 por 100 de las emisiones globales están sujetas a compromisos de cero emisiones, representando el 85 por 100 de la población mundial.

En un mundo de rápida descarbonización nos podemos preguntar cuál es el papel que van a jugar el petróleo y el gas natural, que hoy en día representan alrededor del 55 por 100 del consumo total de energía primaria.

Para responder a esta pregunta hemos usado tres fuentes de información que llevan a cabo análisis de prospectiva, siendo los escenarios usados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la Naciones Unidas la fuente de mayor relevancia. Hay que poner de manifiesto que las tendencias presentadas y discutidas en el presente artículo deben ser tomadas con cautela, debido a la incertidumbre que rodea la transición energética. Este trabajo explora el papel del petróleo y el gas natural desde el punto de vista de la demanda y de la oferta, prestando atención a medio plazo (hasta 2030) y a más largo plazo (2050).

Una tendencia común a la mayoría de los escenarios explorados es que el petróleo y el gas natural van a seguir siendo energías clave para el mundo en los próximos 30 años, aunque el consumo de ambos hidrocarburos se irá reduciendo a medida que la economía se descarboniza. En este contexto de menor consumo, conviene destacar que el gas natural es un combustible más resiliente ante los escenarios de descarbonización, en particular, en la próxima década.

En el caso del petróleo, el transporte es el principal motor de la demanda. Por una parte, se anticipa un aumento de la demanda de servicios de transporte, en especial por parte de las economías emergentes. Por otra parte, para reducir las emisiones de este sector necesita de una mayor eficiencia, una rápida electrificación, y el uso de combustibles bajos en carbono. Como resultado, en 2050 la demanda se va a reducir y los diferentes escenarios la sitúan en un rango entre 23 y 74 millones de barriles al día, lo que sugiere una gran incertidumbre respecto del tamaño de la caída.

Respecto al gas natural, los dos sectores clave son la industria y la generación eléctrica, representado el 33 por 100 y el 40 por 100 de la demanda total en 2019, respectivamente. Las economías emergentes de Asia, sumidas en un proceso de industrialización, ayudan a mantener la demanda en el corto plazo. Por otro lado, la fuerte penetración de las energías renovables termina desplazando este hidrocarburo del sector eléctrico a medio y largo plazo. Resaltar que una característica del gas natural es que el CO₂ emitido en la industria, en la generación eléctrica, o en la producción de hidrogeno, se puede capturar y secuestrar. Esto convierte al gas natural en un combustible más resiliente en los escenarios de rápida descarbonización.

Llama la atención, que en algunos escenarios del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, compatibles con un aumento de la temperatura global de 2 °C, la demanda de gas natural aumenta respecto del consumo actual. Hay un amplio rango en variación de la demanda, que va desde una caída del 60 por 100 a un aumento del 15 por 100, lo que muestra, de nuevo, la incertidumbre asociada a este tipo de escenarios de prospectiva energética.

Por el lado de la oferta, el *tight oil* norteamericano y la OPEP van a ser claves para explicar el comportamiento del mercado de petróleo. A largo plazo, la OPEP, por sus ventajas competitivas, recupera cuotas de mercado convirtiéndose en el principal jugador de este mercado. Por su parte, la menor demanda de gas natural a largo plazo arrastra a la producción de Estados Unidos, Oriente Medio y Rusia, que absorben la mayor parte de la dicha caída.

Sobre el comportamiento de los precios, los escenarios explorados sugieren visiones diferentes e, interpretamos, que contrapuestas, por lo que no consideramos conveniente sacar conclusiones.

¿CUÁL SERÁ EL COSTE DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE EN EL FUTURO?

Pablo DEL RÍO

CSIC

Christoph P. KIEFER

Fraunhofer ISI

La descarbonización de los sistemas energéticos representa un elemento fundamental de la transición energética necesaria para lograr los objetivos del Acuerdo de París. Las tecnologías renovables y, más concretamente, las tecnologías de generación eléctrica basadas en fuentes de energía renovables constituyen un pilar básico en esa transición, y su coste un elemento relevante en la misma.

Por tanto, identificar costes probables de las tecnologías renovables en el futuro tiene una importancia innegable para la política pública. Ayudarán a los decisores públicos a tomar decisiones que les permitan diseñar sus escenarios energéticos futuros. Además de la relevancia para la toma de decisiones públicas, el tema tiene una clara importancia académica, pues dichos costes son un insumo en los modelos de sistemas energéticos. Como los costes futuros de la tecnología juegan un papel crucial en la determinación de los resultados de esos modelos, resulta esencial tener predicciones fiables.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es identificar los rangos de costes probables de dichas tecnologías en el futuro, con especial atención a las tecnologías eólicas (terrestre y marina) y solares (fotovoltaica y termoeléctrica). Para ello, se lleva a cabo una revisión sistemática de la literatura, en la que se identifican los estudios más relevantes a nivel mundial y se recogen las predicciones de costes nivelados (*LCOE*, por sus siglas en inglés, o *levelized electricity costs*). El *LCOE* incluye todos los costes de una planta de electricidad, y es el resultado de dividir la suma de los costes descontados de la planta por la suma de la generación eléctrica a lo largo de su vida útil, lo que da lugar a un coste unitario medio para la planta.

Existen varios métodos para predecir los costes futuros de las tecnologías renovables. Tres de los más utilizados son preguntar a expertos (que puede utilizarse para derivar valores probables de los costes futuros de las tecnologías renovables), los modelos ingenieriles y las curvas de aprendizaje. Por tanto, la revisión incluye estos tipos de estudios. La razón de centrarse en las tecnologías eólicas y solares tiene que ver con la importancia que previsiblemente jugarán esas tecnologías en la transición energética. Dado su dinamismo y rápidas reducciones de costes, únicamente se analizan los estudios más recientes (desde 2015).

Este artículo cubre un vacío en la literatura pues no existe, que sepamos, una revisión sistemática de los estudios sobre el tema, al menos reciente. De hecho, existen relativamente pocos trabajos que analicen los costes a futuro de las tecnologías renovables.

En la revisión sistemática de la literatura, se han identificado 25 documentos con predicciones de los costes nivelados a futuro en distintos países del mundo. Los resultados de esa revisión muestran un rango de costes en 2030 para la eólica terrestre de entre 16 y 129 €/MWh, entre 43 y 178 €/MWh para la eólica marina, entre 31 y 152 €/MWh para la solar fotovoltaica de techo y entre 14 y 117 €/MWh para suelo y de entre 44 y 105 €/MWh para la solar termoeléctrica. Los rangos de costes a 2050 serían menores, y a un nivel inferior, de entre 15 y 40 €/MWh para la eólica terrestre, de entre 25 y 80 €/MWh para la eólica marina, de entre 9 y 83 €/MWh para la solar fotovoltaica y de entre 45 y 101 €/MWh para la solar termoeléctrica. Estos costes futuros suponen reducciones considerables con respecto a los costes actuales. En términos porcen-

tuales, las mayores reducciones esperadas tendrán lugar en la eólica marina y la solar fotovoltaica, seguida de la solar termoeléctrica y la eólica terrestre.

Es de esperar que los costes a futuro varíen para una misma tecnología por zonas geográficas, atendiendo a factores clave de diferenciación como son las condiciones de los recursos renovables existentes en diferentes lugares, así como las condiciones de financiación en distintos países. Sin embargo, no existen suficientes referencias para llevar a cabo un análisis con ese nivel de desagregación. Los documentos seleccionados en nuestra revisión centran su atención en distintos países del mundo, en diferentes horizontes temporales y utilizan diferentes metodologías. No obstante, sí ha sido posible identificar una serie de tendencias generales con respecto a los *LCOE* esperados en el futuro.

Un análisis de los *LCOE* a futuro tiene que tener en cuenta una serie de limitaciones. Una de ellas es la inevitable incertidumbre que existe sobre la evolución de dichos costes y, por tanto, su nivel a futuro. Además, existen limitaciones del *LCOE* como métrica de los costes y en su uso como *proxy* de los costes de la transición energética en un contexto de incremento de la penetración de tecnologías de generación eléctrica renovable variables y de la importancia del «valor» de la electricidad sobre su coste (en términos de *LCOE*). Otras limitaciones tienen que ver con nuestro propio enfoque. Algunas son relativas a la metodología de las revisiones sistemáticas. Una revisión sistemática no es una garantía de que sea comprehensiva o sin sesgos. Finalmente, el estudio ha detectado los *LCOE* a futuro, pero no cual es el potencial de generación correspondiente para cada uno de los niveles de coste. Esta es una información tan relevante para la toma de decisiones como la del propio *LCOE*. Desgraciadamente, ningún documento revisado incluye esta información.

Algunas de las limitaciones anteriores sugieren posibles líneas de investigación futuras. En primer lugar, el enfoque adoptado aquí (revisión sistemática de la literatura) debería verse como un primer paso para un meta-análisis más profundo. Los metaanálisis son de naturaleza cuantitativa, e implican el análisis estadístico de los resultados de varios estudios comparables. En segundo lugar, debería llevarse a cabo un análisis detallado de los factores que inciden en los niveles y reducciones del *LCOE*. Finalmente, deben detectarse y evaluarse los factores de incertidumbre fundamentales con respecto a la evolución de esos costes, analizando cómo afectan a los resultados.

ESTRATEGIAS NACIONALES SOBRE EL HIDRÓGENO: ELEMENTOS DE DISEÑO COMUNES Y LECCIONES APRENDIDAS

Santiago SERNA

Timo GERRES

Rafael COSSENT

Instituto de Investigación Tecnológica (Universidad Pontificia Comillas)

EL cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta nuestra sociedad en el siglo XXI. Conscientes de ello, 192 países firmaron en 2015 el Acuerdo de París con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a 2 °C, además de promover esfuerzos para reducir este aumento a solo 1,5 °C. El cumplimiento de este objetivo pasa por la descarbonización de la economía centrandose en la electrificación con energías renovables y en el aumento de la eficiencia energética. Sin embargo, la neutralidad de emisiones requiere soluciones adicionales debido a las limitaciones técnicas o económicas que tiene la electrificación en algunos sectores. Sectores como el transporte pesado por carretera, el transporte marítimo, el transporte aéreo o la industria pesada en los que una descarbonización profunda es prácticamente imposible sin el hidrógeno.

Por este motivo, países de todo el mundo han otorgado al hidrógeno un papel central en su planificación energética. En este artículo analizamos doce hojas de ruta nacionales del hidrógeno publicadas por países de los cinco continentes con el objetivo de comparar su contenido y estructura. Nuestro análisis está estructurado en torno a cuatro preguntas clave:

1. ¿Cómo se producirá el hidrógeno a nivel nacional?
2. ¿Qué aplicaciones y sectores van a consumirlo?
3. ¿Cómo se va a transportar el hidrógeno hasta los consumidores finales?
4. ¿Qué políticas se consideran necesarias para apoyar este proceso?

En el artículo se aborda en profundidad cada una de estas preguntas haciendo un repaso a los métodos de producción de hidrógeno, sus potenciales aplicaciones o los métodos de transporte y almacenamiento existentes. De forma resumida, las principales conclusiones que se pueden sacar en base a estas cuatro preguntas son:

- La vía de producción de hidrógeno preferida es diferente en cada país y está relacionada con la disponibilidad de recursos energéticos locales. Los países con un alto potencial de producción de energía solar y/ eólica como España o Marruecos tienden a favorecer el hidrógeno verde mientras que los países con acceso preferente a recursos fósiles favorecen el hidrógeno azul, por ejemplo, Australia o Canadá. Asimismo, no existe una visión clara de cuál será el papel de otras fuentes de energía como la biomasa o la energía nuclear en la producción de hidrógeno, si bien algunas estrategias las mencionan a largo plazo.
- Las aplicaciones prioritarias que van a consumir hidrógeno varían de un país a otro habiendo estrategias nacionales centradas casi en exclusiva en el uso del hidrógeno para el transporte, como las

de Corea del Sur o Japón, y otras estrategias que se centran sobre todo en potenciar el consumo de hidrógeno en la industria como es el caso de la estrategia alemana.

- La infraestructura necesaria para transportar el hidrógeno hasta los consumidores finales no recibe suficiente atención en la mayoría de las estrategias nacionales y solo algunas de ellas mencionan con profundidad este aspecto. Todas ellas parecen coincidir en el carácter local del suministro durante las primeras fases de transición.

Por otra parte, un aspecto relevante en todas las estrategias es el papel que va a jugar el país en el futuro mercado del hidrógeno. Siete de las doce estrategias revisadas ven en el hidrógeno la oportunidad de convertirse en exportadores de energía mientras que únicamente tres de ellas reconocen la necesidad de importar hidrógeno en el futuro (Japón, Corea del Sur y Alemania). Esta situación sugiere que la oferta de hidrógeno puede ser superior a la demanda y que muchos países deberían revisar sus objetivos de exportación en un futuro.

- Las políticas más mencionadas para el despliegue del hidrógeno se centran en el apoyo a la tecnología y el primer despliegue a escala comercial, haciendo hincapié en las subvenciones y la financiación para hacer el hidrógeno renovable competitivo con las tecnologías convencionales. También se mencionan las políticas necesarias para establecer las reglas de una economía del hidrógeno, como el desarrollo de un marco regulatorio o un sistema de garantías de origen.

En definitiva, nuestro análisis demuestra que no existe una visión única y compartida de la economía del hidrógeno y que todos los países tienen una visión distinta dependiendo de su contexto específico. Es importante destacar que, aunque las importaciones/exportaciones de hidrógeno juegan un papel importante en prácticamente todas las publicaciones revisadas, los flujos comerciales de hidrógeno en el futuro son muy inciertos y el énfasis para el horizonte 2030 debería estar en potenciar la producción y la demanda a nivel local. Las necesidades de importación están previstas para más allá del 2030 y solo serán relevantes si las economías nacionales se han desarrollado hasta tal punto que los recursos nacionales no son suficientes para satisfacer la demanda local de hidrógeno.

ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO DE ESPAÑA EN EL HORIZONTE 2030

Juan José VALENTÍN VÍRSEDA

Mott MacDonald

José Pablo CHAVES ÁVILA

Pedro LINARES LLAMAS

Andrés RAMOS GALÁN

Instituto de Investigación Tecnológica (Universidad Pontificia Comillas)

Las tecnologías de almacenamiento serán una pieza clave para los sistemas eléctricos descarbonizados, donde la generación mayoritariamente provendrá de eólica y solar, tecnologías variables al depender de la disponibilidad del recurso primario. Las tecnologías de almacenamiento permiten acumular energía cuando la generación renovable es abundante, para posteriormente descargar la energía almacenada en momentos de baja producción renovable. De esta manera, se permite aprovechar la generación renovable y satisfacer la demanda eléctrica. A su vez, la demanda eléctrica se espera vaya incrementando significativamente para satisfacer las necesidades energéticas debido a la electrificación de sectores como el transporte, la climatización, o la demanda de distintos sectores industriales, incluida la electrificación indirecta a través de la producción y utilización del hidrógeno.

Las necesidades de almacenamiento en un sistema eléctrico descarbonizado son diversas. Por un lado, se debe contar con almacenamiento de largo plazo, para acumular energía durante periodos relativamente largos y satisfacer la demanda cuando haya poca generación renovable (por ejemplo, cuando ocurran anticiclones invernales de manera prolongada con poco viento y falta de generación solar). Por otro lado, la generación renovable puede cambiar significativamente durante periodos cortos, por ejemplo, la generación solar, al amanecer o anochecer, o la eólica por cambios repentinos en los vientos, necesitando otras tecnologías capaces de adaptarse a estos cambios de manera muy rápida. Además, la predictibilidad de la generación eólica y solar es también limitada por lo que se necesitan otras tecnologías capaces de dar servicios necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema como son las reservas de operación, que mantienen la frecuencia dentro de rangos seguros para todos los elementos y usuarios conectados a las redes. Otros servicios necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema como son el control de tensiones, inercia o potencia síncrona, congestiones en las redes, entre otros, no han sido considerados en este estudio.

Las tecnologías de almacenamiento pueden acumular energía durante distintos períodos. Las baterías tienen una capacidad de almacenamiento diario, mientras los bombeos tienen capacidad de almacenamiento con horizonte de diario a semanal, pero los bombeos tienen capacidad estacional limitada, que es mayor en las centrales hidráulicas regulables. Adicionalmente, el almacenamiento compite con otras tecnologías como son las centrales de gas natural o la gestión de la demanda, que puede provenir de la gestión de flotas de vehículos eléctricos, la gestión de la climatización de edificios, la gestión de procesos industriales flexibles o el consumo eléctrico utilizado para la generación de hidrógeno. Algunas de estas tecnologías de gestión de la demanda podrían proveer los mismos servicios que las unidades de almacenamiento.

Específicamente, este trabajo determina las necesidades de almacenamiento eléctrico en el 2030, año horizonte del actual Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y donde se fijan una serie de objetivos en materia energética para avanzar en la descarbonización de la economía española. El estudio utiliza un modelo de optimización (openTEPES) que determina las inversiones y la operación del sistema eléctrico

peninsular para distintos escenarios, considerando alternativas de interconexión con países vecinos, la disponibilidad de la gestión de la demanda, distinta disponibilidad hidráulica y un escenario de anticiclón invernal. El modelo openTEPES considera distintas necesidades de almacenamiento: diario, semanal y estacional. Un elemento diferenciador de este trabajo es la capacidad de optimizar la gestión hidráulica, algo esencial para determinar las distintas necesidades de almacenamiento. En otros estudios, incluyendo el PNIEC, se asume la gestión hidráulica actual en escenarios futuros, la cual puede cambiar significativamente por el cambio considerable en el *mix* de generación. Aparte de determinar las decisiones de inversión en distintas tecnologías de almacenamiento y la operación del sistema (generación por tecnología, emisiones y costes resultantes), openTEPES calcula el balance económico para las tecnologías de generación y almacenamiento, dependiendo del valor que éstas aportan para proveer energía, reservas de operación y capacidad de respaldo o firmeza.

Los resultados del estudio señalan que, dentro de las tecnologías de almacenamiento, las baterías son la tecnología más competitiva para responder a necesidades horarias del sistema, mientras que los bombeos son más adecuados para responder a necesidades horarias y diarias. Los ciclos combinados y las centrales hidroeléctricas son las tecnologías capaces de gestionar los ciclos estacionales de almacenamiento. Las baterías son competidoras directas de la gestión de la demanda, que suele tener flexibilidad con ciclos de gestión horaria.

Sin embargo, para las condiciones simuladas, las tecnologías de almacenamiento que se deberían instalar para proveer energía, reservas de operación y firmeza, no recuperarán sus costes de inversión y necesitarán mecanismos de remuneración adicionales a los mercados existentes para hacer atractivas económicamente inversiones en estas tecnologías (por ejemplo, a través de un mercado de fiabilidad).

Los ingresos por la venta de energía y reservas de operación son críticos para la competitividad de las baterías. Las centrales de bombeo, por otro lado, dependen principalmente de los precios mayoristas del mercado y se ven beneficiadas por un mayor requerimiento de ciclos de almacenamiento (12-36 h), así como por la exportación a países vecinos y el aprovechamiento de los vertidos renovables. Los bombeos compiten, en menor medida, con la gestión de la demanda de mayor duración.

Los escenarios extremos de anticiclón invernal solo pueden subsanarse con generación con ciclos combinados o en el caso de suficiente disponibilidad hidráulica, con centrales hidroeléctricas con capacidad de almacenamiento estacional.

Es relevante señalar que el modelado utilizado es determinista y con un horizonte anual, lo cual hace que la gestión hidráulica pueda ser muy optimista, dando mucha flexibilidad al sistema y obteniendo costes menores a los que se podrían obtener con una operación más realista del sistema. Futuros estudios deberían considerar la estocasticidad en los parámetros claves como pueden ser las aportaciones hidráulicas.

A la vista de los resultados, se recomienda el diseño de mecanismos de mercado que permitan la competencia de distintas tecnologías en igualdad de condiciones y no "cuotas" definidas *a priori* para determinadas tecnologías. Esto permitirá que se puedan cumplir los objetivos establecidos por el PNIEC al menor coste posible.

EL FUTURO DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Miguel Ángel SÁNCHEZ FORNIÉ

Javier MATANZA

Rafael COSSENT

Instituto de Investigación Tecnológica (Universidad Pontificia Comillas)

ANTE el reto que supone la transición energética, en la que la electrificación es clave, las redes eléctricas están llamadas a jugar un papel esencial. La generación centralizada y el consumo inelástico se van reemplazando gradualmente por el uso de recursos energéticos distribuidos que permite el empleo masivo de generación de origen renovable, y por una mayor flexibilidad y eficiencia del consumo, y la necesaria sustitución de los combustibles fósiles en el transporte.

Asimismo, la seguridad y fiabilidad del suministro eléctrico, ejes centrales de la planificación y operación de las redes, adquieren una relevancia aún mayor. A una creciente dependencia del vector electricidad se añaden los efectos de fenómenos meteorológicos adversos, cuya frecuencia crece debido a las consecuencias del cambio climático.

En este contexto, se está exigiendo a las redes unas funciones nuevas a las que tradicionalmente desempeñaban. En suma, se está necesitando que las redes sean «inteligentes» para facilitar, favorecer y acelerar la transición energética. Ante la pregunta de si las redes actuales están ya preparadas para afrontar ese reto, la respuesta corta es que no.

Antes de ahondar en las razones de esta respuesta, es necesario poner de relieve las diferencias entre los sistemas de transporte y de distribución. La red de transporte transmite electricidad a muy alta tensión desde las grandes centrales eléctricas, típicamente ubicadas lejos de los núcleos de población, hasta las cercanías de las grandes demandas. En cambio, la red de distribución lleva esa energía desde las subestaciones de transporte hasta todos y cada uno de los puntos de suministro en alta, media y baja tensión. Por tanto, estas últimas cuentan con una extensión, en kilómetros, número de subestaciones y puntos de suministro, mucho mayor.

Esta distinción resulta fundamental ante el reto de la transición energética ya que deben adoptarse diferentes soluciones y con diferente volumen de actuación. Por un lado, nos encontramos con la necesaria extensión de las redes de transporte para conectar los grandes parques renovables y, por otro lado, las redes de distribución que, mediante pequeñas extensiones de red, han de conectar los muy numerosos recursos distribuidos previstos.

Volviendo a la pregunta de la preparación de la red, la respuesta negativa se debe principalmente a que las redes de distribución, en general, no son aún lo suficientemente «inteligentes» como para integrar los recursos energéticos distribuidos de manera efectiva y eficiente; dicho de otra manera, no están suficientemente digitalizadas.

La buena noticia es que sí se dispone de una red robusta basada en activos de «cobre y hierro», desarrolladas en un momento en que el objetivo era universalizar el suministro eléctrico, sin disponer de tecnologías digitales, a excepción de las protecciones y controles imprescindibles. En la actualidad, como regla general, que cuanto más alta sea la tensión en la red, mayor grado de digitalización tiene, contando ya las redes de transporte con un alto grado de digitalización. Como toda regla tiene su excepción, las redes de baja tensión muy poco digitalizadas en general, ya han empezado con los contadores inteligentes.

Una dificultad añadida es que no contamos con unos indicadores comúnmente aceptados para medir el grado de digitalización, que nos permita medir el progreso o establecer comparaciones entre diferentes sistemas. Mientras no se disponga de medidas objetivas, las comparaciones del grado de digitalización entre países o entre compañías tienen una utilidad dudosa. En este sentido, merece la pena recordar que el artículo 59.1 de la Directiva 2019/944 invita a los reguladores a desarrollar indicadores para medir el progreso en la digitalización de las redes y publicar un informe cada dos años. Más recientemente, la Comisión Europea, en su comunicación titulada “Digital Action Plan for Energy”, indica que dará apoyo a ACER y a los reguladores nacionales con el fin de que estos indicadores comiencen a evaluarse ya en 2023. Pensamos que cualquier propuesta de indicadores de digitalización que se haga en este sentido debe comprender las siguientes cuatro dimensiones: sensores y actuadores, conectividad, capacidad de tratamiento de datos, y cultura digital del propio gestor de la red.

En definitiva, este artículo analiza las tendencias sobre el futuro de las redes eléctricas inteligentes, partiendo de una descripción de su situación actual. Si bien mucho de su contenido es aplicable con carácter general, su ámbito de observación se limita al caso europeo y más concretamente al caso español, especialmente cuando se analiza la regulación aplicable. Asimismo, una parte considerable del análisis se centra en las redes de distribución en tanto en cuanto serán las más afectadas por los cambios previstos. Las principales conclusiones que se pueden destilar se resumen muy brevemente a continuación:

- Las redes eléctricas seguirán siendo necesarias e incluso su importancia será mayor en el conjunto del sistema energético, según se vaya desarrollando su transición.
- Las redes en su estado actual, si bien proporcionan una base necesaria, deben adaptar unos profundos cambios para hacer posible esa transición.
- La digitalización es, en el caso del sector energético y de las redes eléctricas en particular, el camino tecnológico para acelerar la transición energética.
- El esfuerzo de adaptación de las redes, ya iniciado, es muy importante en términos de uso de tecnologías a través de ingentes inversiones y requiere acompañarlo de un cambio cultural en las empresas directamente afectadas,
- El cambio de función de las redes eléctricas, desde uno de servicio universal a una demanda creciente, pero prácticamente pasiva, hasta un elemento neutral imprescindible para hacer posible un mercado eléctrico en competencia, requiere de una adaptación regulatoria mucho más rápida que la registrada hasta la fecha.
- Aparecerán oportunidades de negocio para nuevos agentes que, sobre todo, se orienten a cubrir las necesidades de los usuarios de red que ya no será solo consumidores de electricidad.
- La actividad de Investigación e Innovación en su sentido más amplio es fundamental para apoyar la adaptación necesaria buscando la eficiencia óptima.
- Por último, pero no por ello lo menos importante, la formación es un aspecto fundamental a incorporar en todos los niveles de actividad que contribuyan al enorme cambio previsto

¿QUÉ FALTA EN EL DISEÑO DE LOS MERCADOS Y LAS TARIFAS DE ELECTRICIDAD DE LA UNIÓN EUROPEA PARA ASEGURAR UN SUMINISTRO FIABLE Y ASEQUIBLE EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA?

Pablo RODILLA

Tomás GÓMEZ

Instituto de Investigación Tecnológica (Universidad Pontificia Comillas)

La mayoría de los retos a los que se enfrentan actualmente los mercados de electricidad en general, y los europeos en particular, vienen motivados por el cambio de paradigma que están experimentando los sistemas eléctricos en su recorrido hacia la descarbonización, caracterizada por la penetración masiva de recursos renovables, por una mayor respuesta de la demanda de los consumidores y por un creciente papel del almacenamiento. A lo anterior, hay que sumar en el contexto europeo, los otros dos objetivos comunitarios del «trilema» energético: asegurar un suministro fiable y asequible. Estos dos aspectos han cobrado especial importancia en la actualidad. En particular, los precios de la energía en Europa, y en consecuencia los de la electricidad, se han mantenido en niveles muy elevados en los últimos meses, impulsados estos por las dinámicas del mercado del gas mundial. Este escenario ha propiciado la apertura de debates en torno a cómo poder asegurar la asequibilidad del consumo eléctrico en el largo plazo y a cuestionar en cierta medida algunos aspectos del diseño de mercado actual y en general de las señales de precio que ven los consumidores.

Fuera de los problemas coyunturales que se puedan estar sufriendo en la actualidad, la solución a la mayoría de los retos asociados a los nuevos recursos renovables y de almacenamiento, sigue pasando por conseguir su integración eficiente en los sistemas eléctricos. Las piezas clave para lograr lo anterior son: i) el diseño del mercado mayorista, ii) el correcto funcionamiento del mercado minorista, iii) el diseño de los posibles mecanismos regulatorios para asegurar el suministro y/o cubrir el riesgo de precio de la demanda, y iv) el diseño tarifario.

Mercados mayoristas

La producción de energía renovable se caracteriza por costes estables en el largo plazo que permiten asegurar el retorno de la inversión mediante la contratación de largo plazo, pero también produce alta volatilidad de precios en el corto plazo ligada a la variabilidad del recurso primario. Los esfuerzos de integración del mercado europeo, hasta ahora concentrados en los mercados de corto plazo: mercado diario, mercado intradiario y mercado de balances, son necesarios, pero insuficientes para completar la transición energética.

Los mercados de largo plazo siguen sin despegar adecuadamente en Europa. De cara a aumentar la liquidez y las posibilidades de cobertura para los agentes en los mismos, la agencia de reguladores de energía europea, ACER, identifica, entre otras, la necesidad de buscar mecanismos que faciliten el acceso a los contratos PPA a los pequeños participantes del mercado, explorar la alternativa de introducir *market makers* en los mercados a plazo, integrar los mercados nacionales de largo plazo, revisar los requerimientos de garantías, e incluso evaluar la alternativa de recurrir a compras centralizadas a plazo.

También sería recomendable una mayor armonización en cuanto a los mecanismos de contratación de la capacidad firme, de tal forma que se permitiese el comercio transfronterizo del producto de forma efectiva

y no se distorsionasen los mercados de energía. Las *reliability options* podrían constituirse en el instrumento que serviría como elemento armonizador en el mercado europeo para garantizar la seguridad de suministro.

En lo que se refiere a los mecanismos de apoyo a las renovables, las directrices comunitarias son claras y éstos deberían fomentar que «*las energías renovables respondan a las señales de precios del mercado y optimicen sus ingresos de mercado*». Cualquier propuesta que se formule para incentivar la expansión de estas tecnologías debe tratar de compatibilizar al máximo estos incentivos con los mecanismos de mercado. En particular, es importante que el mecanismo evite distorsionar la operación, y por lo tanto los mercados y los precios, de corto plazo.

Las subastas centralizadas para el despliegue de renovables deberían jugar un papel subsidiario de los mecanismos de contratación libre entre productores y demanda, tales como la contratación bajo PPA, en tanto en cuanto se estimen como necesarias para alcanzar los objetivos de descarbonización fijados por los gobiernos.

Hay países que, en la actual crisis de altos precios, plantean reformas del mercado consistentes en remunerar a algunas tecnologías, fundamentalmente las de producción no gestionable, con precios de largo plazo y de algún modo aislarlas del mercado de corto plazo. Estos mercados de corto plazo sí que se mantendrían para el resto de tecnologías. Cabe comentar que aislar a ciertas tecnologías de las señales y requerimientos de programación del corto plazo es un esquema que para altas penetraciones de dichas tecnologías ha mostrado ser muy ineficiente y nocivo para el sistema en su conjunto.

Mercados minoristas

A pesar de todos los esfuerzos durante más de una década por desarrollar los mercados minoristas en Europa, lo cierto es que la competitividad y la participación de los consumidores en los mismos es escasa, evidenciando los análisis año tras año que el valor añadido de este mercado es limitado. Son muchos los Estados miembros que se resisten a dejar de intervenir de alguna forma en los mercados minoristas, sobre todo el residencial. La crisis ha reforzado esta tendencia a la intervención.

Señales económicas al consumidor final

El papel de las tarifas de los consumidores finales es clave en el contexto actual. La única forma de que los recursos centralizados y distribuidos operen y compitan de manera conjunta y eficiente es establecer un sistema integral de señales económicas. Este sistema impulsará no solo la operación sino también la planificación de nuevos recursos y definirá el equilibrio entre servicios centralizados y distribuidos en el futuro.

Los nuevos modelos de mercados locales de flexibilidad y las incipientes experiencias comerciales proporcionan pruebas convincentes de que los consumidores activos participando en el mercado, aportando recursos flexibles, es un negocio prometedor con justificación técnica y económica, y necesario para la transición energética.

EL PAPEL DE LA FISCALIDAD MEDIOAMBIENTAL EN EL ÁMBITO ENERGÉTICO: REFLEXIONES PARA ESPAÑA

Marta VILLAR EZCURRA

Universidad San Pablo-CEU

Xavier LABANDEIRA VILLOT

Rede, Universidade de Vigo y Ecobas

EL artículo aborda el papel que deberá jugar la fiscalidad energético-ambiental en España para facilitar la transición hacia una economía baja en carbono, siguiendo las directrices planteadas en el reciente *Libro blanco para la reforma fiscal (LB)*. Tras mostrar la importancia que la legislación europea y española otorga a estos impuestos como instrumentos capaces de emitir las señales correctas a mercados y operadores para lograr acelerar la transición energética hacia una economía descarbonizada, se resumen los principales contenidos del *LB*. Se apunta así que este realiza un diagnóstico de la situación actual del sistema tributario, describe las razones que fundamentan las reformas fiscales verdes y formula diversas propuestas para la fiscalidad energético-ambiental española. En particular, el *LB* señala que el sistema fiscal actual no contribuye eficazmente a lograr el cumplimiento de diversos compromisos medioambientales españoles debido al reducido peso de los impuestos medioambientales, a un diseño inadecuado y al uso de figuras heterogéneas aplicadas a distinto nivel territorial con limitados mecanismos de coordinación. En este contexto, considera que es preciso actuar con la formulación de unas directrices para la fiscalidad medioambiental que contienen tres mensajes claros: el principio de “quien contamina paga” y el fundamento de la extrafiscalidad como punto de partida para revisar las figuras tributarias; la valoración de las experiencias de otros países y su posible aplicación al caso español; y la capacidad de la fiscalidad medioambiental para dotar de estabilidad financiera al marco legal por su capacidad de aportar recursos para financiar gastos asociados a los costes de la transición energética y a los paquetes compensatorios a los sectores afectados.

En el ámbito de la energía, el *LB* señala que la reforma fiscal debe priorizar dos objetivos: el fomento de la electrificación y la movilidad sostenible. Con respecto al primer objetivo, en el sector eléctrico existen tecnologías renovables maduras, a diferencia de lo que ocurre en otras actividades, por lo que es crucial para lograr la transición hacia una economía baja en carbono. Por ello, los impuestos medioambientales que gravan la electricidad deberán reformarse para alinearse con tres objetivos fundamentales: la electrificación, la reducción de los daños medioambientales asociados a la generación de electricidad y el fomento de la eficiencia energética. En consecuencia, las medidas concretas que se proponen son la supresión del impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica, la modificación del impuesto especial sobre la electricidad, la cobertura de todos los costes asociados a las centrales nucleares y la adopción de medidas que mejoren el diseño y la efectividad de los impuestos autonómicos relacionados con el sector eléctrico.

En relación al segundo objetivo en el ámbito energético, dado que el sector del transporte supone actualmente la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en España y es origen de otros importantes daños medioambientales, las medidas tributarias han de jugar un papel fundamental para incentivar cambios de comportamiento e inversiones en tecnologías limpias. En este contexto, el *LB* sugiere que la fiscalidad ha de orientarse a incorporar las externalidades negativas asociadas al transporte, favoreciendo las alternativas menos contaminantes. Así las medidas propuestas incluyen la reforma de la tributación de los combustibles de aviación, marítimos y agrarios, el establecimiento de un impuesto sobre los billetes de avión, la igualación y elevación de los impuestos aplicados sobre gasolina y diésel de automoción, la reforma del impuesto especial sobre determinados medios de transporte para favorecer una flota de vehículos sostenible, la modificación del impuesto sobre vehículos de tracción mecánica para penalizar a las tecnologías que más contaminan, la creación de impuestos municipales sobre la congestión, la consideración de impuestos por uso de determinadas infraestructuras y, más a medio plazo, el

establecimiento de un impuesto sobre el uso real del vehículo que sustituya a la mayoría de los impuestos existentes.

En suma, el trabajo considera que la fiscalidad medioambiental y sobre la energía está llamada a jugar un papel fundamental en la transición hacia sociedades descarbonizadas y que minimicen el uso de recursos naturales. En el caso de España, dado que en la actualidad estos impuestos tienen un peso reducido y una regulación jurídica compleja y asistemática, considera que es necesario y urgente llevar a cabo una reforma tributaria basada en la racionalidad medioambiental, la coordinación y complementariedad con el conjunto de instrumentos de protección medioambiental, asegurando la cooperación y coordinación entre las distintas administraciones, y la efectividad como criterio fundamental para definir las propuestas fiscales. Asimismo, las medidas deben aplicarse de forma gradual, considerando la coyuntura económica y energética, y teniendo en cuenta los posibles impactos regresivos sobre los hogares y sobre la competitividad. En el caso de los hogares se recomienda articular las compensaciones distributivas mediante transferencias directas no vinculadas a los precios energéticos y subsidios para el cambio de los bienes duraderos relacionados con las emisiones contaminantes. En el ámbito empresarial se sugiere el uso de compensaciones a los sectores más vulnerables junto a otros instrumentos complementarios como ajustes fiscales en frontera.

LA IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: EVIDENCIA RECIENTE PARA ESPAÑA

Ibon GALARRAGA

Basque Centre for Climate Change, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, Metroeconomica

Elena LÓPEZ-BERNABÉ

Basque Centre for Climate Change

Cristina OJEDA

Metroeconomica

María del Mar SOLÀ

Basque Centre for Climate Change, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea

Amaia DE AYALA

Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Basque Centre for Climate Change

En el contexto de la transición energética, la eficiencia energética (EE), entendiéndose como el esfuerzo por reducir la cantidad de energía utilizada para proporcionar un determinado servicio, ofrece una oportunidad excelente para reducir sustancialmente el consumo de energía y, en consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en muchos sectores (Howarth *et al.*, 2022; Linares y Labandeira, 2010).

Sin embargo, a pesar de los beneficios monetarios y las ventajas ambientales que puede ofrecer la EE, los niveles de inversión en ella son generalmente más bajos de lo que a primera vista parecería económicamente razonable. Esta paradoja es lo que se denomina como *brecha de eficiencia energética* o *paradoja de la eficiencia energética* (Jaffe y Stavins, 1994). Existen distintos factores que explican dicha brecha y diversos instrumentos de política para hacer frente a ella (Markandya, Labandeira y Ramos, 2015; Solà *et al.*, 2020).

Bajo este contexto, el presente estudio revisa cuatro grandes áreas de trabajo (el uso de la calefacción en el sector residencial, el papel de la EE en el sector hotelero, el papel de la EE en la compra de electrodomésticos para uso residencial y las experiencias en distintos sectores con relación a distintos productos que hacen uso de la energía) para el caso español a la hora de abordar la brecha de la EE y de aportar ideas para la elaboración de políticas que sean eficaces y eficientes. En concreto, resumimos algunas de las aportaciones recientes al caso español desde la óptica de los métodos cuantitativos (López-Bernabé, Foudi y Galarraga, 2020; López-Bernabé *et al.*, 2021; López-Bernabé, de Ayala y Galarraga, 2022), así como desde una perspectiva cualitativa (de Ayala *et al.*, 2020) que han surgido como resultado de dos proyectos europeos de investigación: H2020 CONSEED¹ y ENABLE².

En base a la evidencia (semi) cuantitativa analizada (López-Bernabé, Foudi y Galarraga, 2020; López-Bernabé *et al.*, 2021; López-Bernabé, de Ayala y Galarraga, 2022), se presentan una serie de recomendaciones políticas. En el caso de los *instrumentos de mando y control*, se percibe que los efectos son mayores (en la factura de calefacción y el consumo de energía) cuando se combinan los instrumentos que incluyen la normativa de ahorro energético y otras normas técnicas que cuando esos instrumentos se utilizan de forma

¹ H2020 CONSEED: Consumer Energy Efficiency Decision making (nº 723741), conseedproject.eu

² H2020 ENABLE: Enabling the Energy Union through understanding the drivers of individual and collective energy choices in Europe (nº 727524), enable-eu.com

aislada. Además, la introducción de normas de EE más estrictas y obligatorias de forma generalizada garantizaría el ahorro de energía incluso en aquellos casos menos propensos a valorar la EE.

En cuanto a la elección de los *instrumentos económicos*, se observa que los consumidores generalmente subestiman la eficacia y eficiencia de los impuestos en comparación con la de las subvenciones. Sin embargo, se obtiene que un impuesto sobre el consumo directo daría lugar a una reducción del consumo de calefacción mucho mayor que la que se obtendría gravando los combustibles fósiles u otras medidas. Además, la información revelada en el mapa cognitivo (efectos directos e indirectos de determinados instrumentos políticos sobre otros conceptos definidos, y conexiones que no tienen efectos evidentes) parece sugerir que existe un mayor apoyo al uso de impuestos que al uso de subvenciones. Los impuestos sobre la energía en particular contribuyen a reducir los efectos del *free-rider* y el efecto rebote, y también pueden ayudar a acentuar las actitudes favorables a la EE en la población.

En cuanto a los *instrumentos de información*, se observa que la educación e información ambiental pueden reducir la factura de la calefacción en mayor medida que cualquier otro instrumento considerado aquí. Instrumentos basados en información, como las etiquetas, las auditorías energéticas y la información detallada en las facturas parecen ser útiles también frente al desconocimiento que se observa sobre el ahorro energético y monetario que proporcionan los equipos de una mayor EE. Asimismo, muchos propietarios valoran muy positivamente la información proporcionada por las etiquetas y les parecería muy útil que incluyeran información sobre ahorros energéticos y monetarios.

Por último, la *combinación de varios instrumentos* (en los denominados paquetes o combinaciones de políticas), tal como proponen los expertos en energía consultados durante esta investigación, daría lugar a la mayor reducción del consumo de energía y de las facturas de calefacción de todos los instrumentos analizados. Además, tener en cuenta la zona climática en la que se llevará a cabo la/s política/s parece ser relevante. Por ejemplo, las políticas podrían dirigirse primero a aquellas zonas, como los climas continentales, en las que los agentes prestan más atención a la EE.

La prima exacta que se paga en el mercado por el atributo de EE es útil para diseñar adecuadamente los planes de subvención y ayudas destinados a apoyar la compra de aparatos eficientes. En este sentido, hemos observado un aumento de cerca de un 5 por 100 en la prima que se paga sobre el precio medio en las lavadoras de alta EE en España. Esto podría sugerir que los esfuerzos para mejorar la información y la concienciación con respecto a la EE y el cambio climático pueden haber sido eficaces al haber aumentado significativamente la disposición de los consumidores a pagar por ella.

En cuanto a la evidencia cualitativa analizada (de Ayala *et al.*, 2020), se concluye que la EE no es el atributo con mayor peso en la decisión de compra. La racionalidad limitada para calcular los ahorros futuros y el problema del agente-principal (sobre todo en los establecimientos de alojamiento y en las empresas con flotas de automóviles) parecen ser los principales obstáculos para la compra de productos eficientes. Para hacer frente al primero de ellos se propusieron medidas como la de proveer información monetaria sobre ahorro energético en las etiquetas de EE, aunque no se llegó a un consenso sobre la unidad de medida en la que ésta debería ser presentada. Además, esto no acabaría con el segundo obstáculo: los consumidores (hogares o empresas) no están dispuestos a pagar el mayor precio de compra de los productos energéticamente más eficientes si no poseen control sobre el comportamiento y uso energético de los usuarios finales. Por tanto, diseñar instrumentos de política que permitan abordar ambas barreras a la inversión en EE parece ser necesario.

Referencias

DE AYALA, A., FOUADI, S., SOLÀ, M. DEL M., LÓPEZ-BERNABÉ, E. y GALARRAGA, I. (2020). Consumers' preferences regarding energy efficiency: a qualitative analysis based on the household and services sectors in Spain. *Energy Efficiency*, 14(1), p. 3.

HOWARTH, N., AL MUGHARBIL, A., ASHDOWN, M., BERTOLI, E., DEBNATH, R., HAMILTON, I., HENROIT, P., KIM, D. y LANE, K. (2022). *Energy Efficiency 2021 – Analysis*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>

JAFFE, A. B. y STAVINS, R. N. (1994). The energy-efficiency gap. What does it mean? *Energy Policy*, 22(10), pp. 804–810.

LINARES, P. y LABANDEIRA, X. (2010). Energy Efficiency: Economics and Policy. *Journal of Economic Surveys*, 24(3), pp. 573–592.

LÓPEZ-BERNABÉ, E., DE AYALA, A. y GALARRAGA, I. (2022). Estimating the price premium of high energy-efficient washing-machines in Spain: A hedonic approach. *BC3 Working Paper Series 2022-01*. Basque Centre for Climate Change (BC3). https://www.bc3research.org/working_papers/view.html

LÓPEZ-BERNABÉ, E., FOUDI, S. y GALARRAGA, I. (2020). Mind the map? Mapping the academic, citizen and professional stakeholder views on buildings and heating behaviour in Spain. *Energy Research & Social Science*, 69, p. 101587.

LÓPEZ-BERNABÉ, E., FOUDI, S., LINARES, P. y GALARRAGA, I. (2021). Factors affecting energy-efficiency investment in the hotel industry: survey results from Spain. *Energy Efficiency*, 14(4), p. 41.

MARKANDYA, A., LABANDEIRA, X. y RAMOS, A. (2015). Policy Instruments to Foster Energy Efficiency. En A. ANSUATEGI, J. DELGADO e I. GALARRAGA (eds.) *Green Energy and Efficiency: An Economic Perspective*, pp. 93–110.

SOLÀ, M. DEL M., DE AYALA, A., GALARRAGA, I. y ESCAPA, M. (2020). Promoting energy efficiency at household level: a literature review. *Energy Efficiency*, 14(1), p. 6.

MISIÓN EUROPEA DE CIUDADES HACIA LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA: UNA OPORTUNIDAD PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

Julio LUMBRERAS

Valentina OQUENDO-DI COSOLA

Nayla SANIOUR

Jaime MORENO-SERNA

Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano, Universidad Politécnica de Madrid (itdUPM)

Martín SANZ

Tomás CONDE

NWorld

Luis LÓPEZ-CÓZAR

Azentúa

La Misión Europea de Ciudades aprobada por la Comisión Europea en 2021 propone alcanzar al menos 100 ciudades climáticamente neutras e inteligentes antes de 2030. El propio instrumento reconoce la dificultad de alcanzar una financiación masiva y estructurada como una de las principales barreras para alcanzar este objetivo. Superarla requerirá diseñar nuevos modelos de negocio e inversión e involucrar a todos los sectores (público, privado y social) en un cambio de perspectiva: pasar del retorno a corto plazo a la obtención de múltiples beneficios a largo plazo, trabajando bajo esquemas de colaboración público-privada y alineados con la emergencia climática. Este artículo explora el diseño de un programa de rehabilitación energética masiva en España, en el contexto de una infraestructura nacional para la implementación de la misión, como un ejemplo de innovación para la transformación urbana.



LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DEBE SER JUSTA: TRES GRANDES TEMAS

Víctor VIÑUALES EDO

Cecilia FORONDA DÍEZ

Carlos PESQUÉ CASTILLO

Javier TOBÍAS GONZÁLEZ

Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES)

LA transición energética es, y debe ser, un esfuerzo colectivo, llevado a cabo por todas las capas y sectores de la sociedad. *Todos debemos hacer todo lo que podemos para alcanzar esa transición, pero hay quienes, con lo que pueden hacer, no alcanzarán los retos en cuanto a reducción de emisiones y descarbonización que tenemos enfrente.* Sin un apoyo explícito, estas personas, estos hogares, quedarán atrás en esta transición, sufriendo unas consecuencias negativas de un proceso que debe mejorar las condiciones y permitir la supervivencia de todos.

Necesitamos visiones y planteamientos a largo plazo por parte de nuestras administraciones, empresas y sociedad civil, que vean más allá de las expectativas electorales, los resultados bursátiles o de plantear siempre la responsabilidad ajena, obviando la propia. Es esencial un cambio de hábitos, un auténtico cambio cultural, que cuesta tiempo y esfuerzo, y requiere de consensos amplios y firmes.

Desde ECODES creemos que hay aspectos clave para poder alcanzar este horizonte deseado, antes de que sea demasiado tarde, como son las apuestas por alcanzar un mercado energético más coherente con nuestros objetivos, unas medidas que protejan en el aquí y el ahora a quien más sufre la volatilidad y aumento de los precios energéticos, el alcanzar un parque de viviendas eficientes y habitables para todos y la amplia implementación comunitaria de la producción de energía a través de fuentes renovables.

La energía debe ser un derecho, y para ello, *las tarifas eléctricas deben reflejar el «pago por uso», eliminando los cargos y peajes no asociados al consumo ni a la prestación del servicio. El mercado con el que hasta ahora hemos calculado cuánto pagamos por nuestra energía fue diseñado en una época en la que casi nadie imaginaba un futuro en el que los combustibles fósiles no tuvieran un rol principal, pero ya no vivimos esa realidad.* La electricidad procedente de fuentes renovables es, a día de hoy, la que tiene unos costes de producción menores, no podemos seguirla pagando al precio que pagamos aquella que se produce con combustibles fósiles. Este apoyo a la producción de electricidad renovable debe tener también un apoyo tributario, que favorezca un abandono definitivo de los combustibles fósiles.

Esta percepción de la energía como un derecho tiene que aplicarse especialmente para aquellas personas y aquellos hogares que ahora mismo no pueden permitirse una cantidad de energía suficiente como para vivir dignamente, o que para alcanzar esta cantidad de energía deben dejar de lado otros aspectos esenciales para la vida, como puede ser una alimentación saludable. Todas las personas necesitamos al menos un «consumo mínimo vital» para poder vivir dignamente, y ese consumo debe establecerse y debería definirse en función de las variables de localización climática y número de miembros de los hogares. Además de ello, las ayudas que ahora mismo existen, como el bono social, deben poderse aplicar a todos los hogares en situación de vulnerabilidad, sea cual sea su modelo de tenencia (propiedad, alquiler o cesión) y rediseñarse para que sirvan como instrumento para garantizar el acceso a la energía.

La dificultad para poder alcanzar un consumo energético que permita vivir dignamente se complementa, por desgracia, con un parque de viviendas muy poco eficiente, sobre todo en el caso de hogares en situación de vulnerabilidad. El ritmo al que estamos rehabilitando nuestras viviendas, y sobre todo las de aquellas personas que más lo necesitan, es muy inferior a lo deseable. Se ha avanzado, especialmente en los dos últimos años, en cuanto a normativa y ayudas, para facilitar que toda la población pueda rehabilitar su vivienda, pero al final la rehabilitación se produce a la escala local, y es desde este nivel desde el que deben desarrollarse estrategias de rehabilitación urbana, que prioricen las zonas más vulnerables y establezcan mecanismos para que las ayudas económicas y sociales no nos lleven a procesos de «desahucio por rehabilitación». La rehabilitación de viviendas y la regeneración urbana, bien aplicadas, pueden no solo ayudarnos a disponer de una vivienda digna y a reducir nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, sino también a reforzar la convivencia comunitaria de los vecinos.

Otro aspecto que puede ayudar a esta mejora de la convivencia comunitaria son las comunidades energéticas locales. Más allá de generar energía renovable de forma local y contribuir de este modo a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, *las comunidades energéticas son una oportunidad para democratizar el modelo energético e impulsar el papel activo de la ciudadanía en el mismo.* Una oportunidad para crear espacios de diálogo en torno a la energía, los recursos de que disponemos para generarla y del uso que hacemos de ella. Espacios para poner de manifiesto la importancia de poder cubrir nuestras necesidades energéticas y que millones de personas tienen dificultades para hacerlo. Las actividades que pueden desarrollar las comunidades energéticas dentro de la cadena de valor de la energía son múltiples, pero el autoconsumo colectivo es la más habitual al menos como primer paso para implicar a la ciudadanía.

La publicación del RD 244/2019 donde se regularon las condiciones para el autoconsumo colectivo fue un impulso fundamental para el desarrollo de iniciativas comunitarias de generación de energía solar aunque todavía existen importantes barreras que están frenando la implantación masiva de este tipo de iniciativas, especialmente en entornos urbanos. Dos tercios de la población en España vive en pisos, y para poder llevar a cabo instalaciones para autoconsumo se requiere de unos consensos mínimos con el resto de propietarios, un escollo a añadir a las dificultades para poder encontrar un espacio mínimo y apropiado para instalar el sistema fotovoltaico. En este punto, la cesión de espacios comunitarios que sean óptimos para el autoconsumo colectivo y que estén abiertos a la participación de la ciudadanía contando con facilitar el acceso a personas vulnerables es primordial para acelerar la penetración de energías renovables en los núcleos urbanos y favorecer el papel activo de la ciudadanía. Para favorecer este empoderamiento ciudadano es necesario que estas instalaciones estén gestionadas de forma democrática mediante una comunidad energética.

Estas comunidades energéticas serán una herramienta clave para fomentar la inclusión de personas en situación de pobreza energética participando en su gobernanza y también en el autoconsumo, reduciendo su dependencia de ayudas públicas y fomentando también su participación activa en el cambio de modelo energético. Nos quedan cosas en el tintero, y cada vez menos tiempo, pero para llegar lejos debemos ir todos juntos.

EL ACCESO UNIVERSAL A LA ENERGÍA

Eduardo SÁNCHEZ JACOB

Santos José DÍAZ PASTOR

Pablo DUEÑAS MARTÍNEZ

Julio EISMAN VALDÉS

Fernando DE CUADRA GARCÍA

Andrés GONZÁLEZ GARCÍA

Ignacio PÉREZ ARRIAGA

*Universal Energy Access Lab (Massachusetts Institute of Technology [MIT]
e Instituto de Investigación Tecnológica [IIT] de la Universidad Pontificia Comillas)*

EN 2015, las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los que se encuentra el número 7 sobre garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna, con la meta 7.1 de acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos para el año 2030. Esta meta se desagrega a su vez en el acceso a la electricidad y a servicios de cocinado.

La energía es un elemento habilitante del desarrollo, y no se podrán alcanzar los ODS si no se garantiza una cantidad mínima de energía para todos los habitantes del planeta. La Agenda 2030 insiste en no dejar a nadie atrás, con una interpretación del concepto «universal» en el sentido de todas y cada una de las personas, sin distinción.

El África subsahariana es la región del planeta con mayores carencias en acceso a la energía y con peores perspectivas para los próximos años, por lo que no es de extrañar que millones de africanos migren cada año para buscar una vida mejor. La meta 7.4 de la agenda exige a los países más desarrollados aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología. Más allá de consideraciones éticas, España debería estar volcada en apoyar el acceso a la energía en el África Subsahariana, tanto para estabilizar la región y disminuir los riesgos geopolíticos, como por el potencial que tiene la región para las empresas.

Ya casi en la mitad del plazo establecido para la consecución de la meta de acceso a la energía, los avances están siendo lentos, y las previsiones indican que en muchos países no se alcanzará dicha meta en el año 2030, a menos que en los próximos años se realicen cambios sustanciales en las políticas de estos países y en las instituciones que velan por el desarrollo.

Este artículo aborda algunos de estos cambios, con especial atención a los relacionados con el sector eléctrico, examinando la evolución y las perspectivas de acceso a la electricidad y el cocinado moderno, las principales barreras a superar, y qué medidas se deben poner en marcha para acelerar el proceso.

Para analizar la evolución que ha tenido lugar y las perspectivas de progreso se compara la situación en los años 2010 y 2020, así como las proyecciones para 2030, teniendo en cuenta la disrupción provocada por el COVID-19, desagregando la información por países y regiones, y discutiendo los métodos de medición,

especialmente el enfoque multidimensional, conocido como *Multi-Tier Framework (MTF)*. Por otra parte, se describen las consecuencias de la falta de acceso, y especialmente su impacto sobre la pobreza, la salud, la educación, la igualdad de género, el medio ambiente, y el cambio climático.

Respecto a las barreras a superar en el ámbito eléctrico, se describen las áreas con menor acceso —que incluyen i) las zonas rurales, remotas y poco pobladas, ii) los asentamientos urbanos precarios, y iii) los campos de refugiados—, así como los colectivos más vulnerables por tener un bajo poder adquisitivo o sufrir un desplazamiento forzoso. Se señalan como elementos críticos mejorar el funcionamiento del segmento de la distribución eléctrica y aumentar la inversión privada en redes de distribución. En el ámbito del cocinado moderno, se abordan las barreras relacionadas con i) el nivel económico, ii) las estrategias poco acertadas de promoción de «cocinas mejoradas» (*ICS, improved cookstoves*), gas licuado del petróleo y tecnologías de bajo potencial, iii) la falta de un enfoque multitecnología en el hogar, iv) la ausencia de una planificación rigurosa a nivel nacional, y v) la dificultad de las mujeres para influir en la agenda pública.

La sección dedicada a las propuestas empieza con una breve descripción de los principales actores que participan en este sector, los principales consensos internacionales y algunos planteamientos prometedoros. En el ámbito eléctrico, se presenta el Marco Integrado para la Distribución (*Integrated Distribution Framework, IDF*), un enfoque reciente que da respuesta a los retos de la distribución de electricidad «en la última milla», se establecen los principios necesarios para el éxito de la electrificación, se explica el potencial de las concesiones para garantizar la universalidad en los programas de electrificación, y finalmente se propone una taxonomía para medir el éxito de estos programas. En el ámbito del cocinado moderno o «cocinado limpio», se destaca la necesidad de una nueva visión sobre el cocinado, de un mayor liderazgo del sector energético en la resolución del problema, de una apuesta decidida por el uso de la electricidad para cocinar, y de una planificación integrada a nivel nacional. La sección termina con la descripción de algunas iniciativas que se están llevando a cabo desde España.

Entre las principales conclusiones del trabajo destaca la necesidad de un mayor compromiso político en cada país, y en particular del sector de la energía, que permita desarrollar nuevos instrumentos adaptados a las necesidades reales. Se propone el enfoque del *Integrated Distribution Framework* para la electricidad, y una nueva visión del cocinado que considere la biomasa como una fuente transitoria que debe desaparecer en el medio y largo plazo, y que apueste decididamente por el uso de la electricidad. La estrategia tiene que abordar de manera consistente aspectos técnicos, regulatorios, financieros y sociales: es necesaria una planificación geoespacial integrada, un modelo de negocio y un marco regulatorio favorables, un plan financiero que muestre su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo, y asegurarse de que el proceso de electrificación y el cocinado moderno responden a las necesidades reales de las comunidades.

LA UE RUMBO A LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA: CON BRÚJULA Y DERIVA

Lara LÁZARO TOUZA

Centro de Enseñanza Superior Cardenal Cisneros (adscrito a la UCM) y Real Instituto Elcano

Gonzalo ESCRIBANO FRANCÉS

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) y Programa de Energía y Clima del Real Instituto Elcano

Las políticas de energía y clima adoptadas por la UE desde los años ochenta del siglo XX han sentado las bases para proponer el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050, alineando intereses y valores de la Unión y reforzando su posición de líder mediante el ejemplo en el ámbito internacional.

Para alcanzar dicho objetivo, se presenta en 2019 el Pacto Verde Europeo (PVE) al que acompaña en 2021 el paquete «Objetivo 55» que incluye numerosas medidas legislativas y ejecutivas, revisiones de medidas preexistentes y nuevos fondos que tratan de limitar el impacto de la descarbonización en los más vulnerables. Guiada por el PVE, la UE enfrentaba la pandemia con el mayor paquete de recuperación verde de su historia, que se espera facilite el cumplimiento de los objetivos de los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima. Más recientemente, la respuesta de la UE a la invasión rusa de Ucrania, con REPowerEU, aumenta la ambición renovable de manera muy significativa.

Todo ello en un contexto de incertidumbre radical y deterioro de las expectativas económicas. Así, algunos de los retos a los que se enfrenta la UE para cumplir con sus objetivos de descarbonización incluyen: asegurar la seguridad del suministro, diversificar fuentes energéticas y proveedores, reducir la dependencia energética de Rusia, adaptarse a la volatilidad de los precios de la energía y asegurar la continuidad, viabilidad política y la aceptación social de las políticas de descarbonización.



H₂

HYDROGEN
**ENERGY
STORAGE**

EX