

RESUMEN ACTIVIDAD ACADÉMICA

TECNOLOGÍAS ELÉCTRICAS COMO PIEZA CLAVE DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA*

Agustín Delgado Martín
Director de Tecnología de Iberdrola
adelgadom@iberdrola.es

Estimados miembros de la Real Academia de Doctores,

En primer lugar, quisiera expresar mi agradecimiento por la invitación a esta institución. La primera vez que estuve aquí fue con motivo del nombramiento de Fernando Becker como académico. Por ello, mis primeras palabras son de reconocimiento hacia él, quien confió en mí hace ya casi veinte años.

La energía constituye un elemento fundamental en nuestras sociedades. Desde tiempos remotos, se ha considerado que uno de los mayores inventos de la humanidad fue el dominio del fuego. Sin embargo, desde el punto de vista energético, no hemos avanzado tanto como cabría esperar desde aquellos tiempos prehistóricos. Aún hoy, cuando hablamos de energía, lo primero que nos viene a la mente es la combustión de algún material: carbón, madera, petróleo o, más recientemente, gas.

Este patrón se mantiene en tecnologías como los motores de combustión interna, denominados así precisamente porque funcionan mediante la quema de un combustible. No obstante, este modelo está cambiando, y es la tecnología la que está posibilitando dicha transformación.

Cuando hablamos de transición energética, nos referimos al proceso de pasar del modelo energético actual a uno nuevo. ¿Y por qué es necesario este cambio? Porque el modelo vigente, basado principalmente en combustibles fósiles, es insostenible.

Este modelo presenta serias deficiencias desde el punto de vista de la sostenibilidad. En primer lugar, en lo que respecta a la seguridad de suministro: el sistema energético actual no puede considerarse fiable. Permitimos la existencia de asociaciones de países que actúan como carteles para manipular los precios, algo que no se toleraría en ningún otro sector

* Sesión académica de la RADE celebrada el 21-05-2025 con el título *Transición energética: entre la economía, la tecnología y el derecho*. <https://www.rade.es/pagina.php?item=1683>

industrial. Esta situación se mantiene por el temor a una interrupción del suministro, temor que ya ha sido explotado en crisis anteriores.

Además, el sistema debe ser económicamente sostenible o, al menos, asequible. Es cierto que los combustibles fósiles han contribuido a una etapa de gran prosperidad, pero también han provocado, en determinados momentos, precios extremadamente elevados. El ejemplo más reciente lo encontramos en la crisis derivada del conflicto en Ucrania.

Por último, debemos considerar el impacto ambiental, tanto en términos de calidad del aire como de emisiones contaminantes. Todo ello indica que el sistema actual no puede mantenerse por mucho más tiempo.

Existe, además, un aspecto técnico relevante: el denominado diagrama de Sankey, que ilustra cómo los flujos de energía primaria se transforman en energía útil. Este análisis revela que, debido a la ineficiencia de los procesos actuales, se pierde aproximadamente dos tercios de la energía primaria, ya sea en forma de calor a través de los tubos de escape de los vehículos o mediante las calderas de gas en los hogares.

Por lo tanto, nos encontramos ante un sistema caracterizado por una baja eficiencia, elevadas emisiones y una fuerte dependencia energética, lo cual hace imprescindible su transformación. Esta necesidad es precisamente lo que plantean organismos como la Agencia Internacional de la Energía o la Comisión de Transición Energética, que proponen avanzar hacia un futuro en el que la electricidad tenga un papel central en la matriz energética.

Se estima que la participación de la electricidad podría alcanzar aproximadamente el 50%, lo que implicaría casi triplicar la demanda actual. ¿Por qué hablamos de este nuevo modelo? Porque hemos aprendido —gracias al progreso tecnológico— a generar electricidad a partir de fuentes renovables como el agua, el sol y el viento, a precios altamente competitivos. Hoy día, la energía solar es la fuente de electricidad más económica en la mayoría de los países. La segunda más barata, en el caso de nuevas instalaciones, es probablemente la energía eólica.

Hemos logrado, por tanto, producir electricidad a partir de fuentes renovables distribuidas geográficamente por todo el planeta, lo que refuerza la seguridad de suministro. Además, estamos aprendiendo a extender el uso de esta electricidad a la mayoría de las aplicaciones energéticas, como veremos más adelante.

En este contexto de transformación se enmarca la Comunicación Europea sobre el Pacto Verde. No se trata únicamente de una aspiración moral o ambiental —aunque también lo es, sino de una respuesta a una tendencia global ineludible. Si Europa no desarrolla una industria basada en estas nuevas tecnologías, quedará rezagada. Es comparable a quien, en su momento, insistía en fabricar hierro con una fragua de carbón, ignorando el surgimiento de la industria del acero.

Desde esta perspectiva, el Pacto Verde Industrial no debe entenderse como una simple comunicación o paquete legislativo, ni como una apuesta simbólica por lo ecológico. Es, en realidad, una estrategia para posicionarse en el nuevo orden industrial global. Apostar hoy por tecnologías fósiles sería como preferir la telefonía fija frente a la telefonía móvil.

Este plan se articula en torno a seis ejes fundamentales:

1. Acceso a una energía asequible, como ya mencionó Fernando.
2. Creación y consolidación de mercados para productos limpios, no solo por su carácter sostenible, sino porque representan los bienes del futuro.
3. Promoción de la inversión pública y privada.
4. Impulso a la economía circular, no solo por razones ambientales, sino porque constituye la vía europea para acceder a recursos minerales disponibles dentro de la Unión.
5. Participación en mercados globales y alianzas internacionales, imprescindibles en un mundo interconectado.
6. Mejora de las capacidades formativas, ya que este nuevo paradigma requiere una fuerza laboral altamente cualificada.

¿Por qué es necesario integrar todos estos elementos? Aquí es donde deseo fundamentar la tesis de que estamos inmersos en un cambio estructural, y que este cambio es imprescindible.

El primer factor clave es la tecnología y su impacto en los costes. La drástica reducción del coste de la energía eólica, solar y de las baterías en los últimos años ha permitido que la energía solar sea hoy la más barata en gran parte del mundo, seguida por la eólica, especialmente cuando no hay sol.

El coste de las baterías también ha disminuido significativamente, lo cual tiene implicaciones tanto para el almacenamiento en el sistema eléctrico como para el desarrollo de vehículos eléctricos. Esta reducción de costes ha facilitado una adopción masiva de tecnologías limpias.

Las curvas de adopción tecnológica —como las de vehículos eléctricos, bombas de calor o instalaciones solares— muestran un crecimiento exponencial. Las proyecciones iniciales de la Agencia Internacional de la Energía eran lineales, lo que llevó a subestimar el ritmo de adopción. Finalmente, dejaron de hacer predicciones porque la realidad superaba sus modelos.

Lo mismo ocurre con las ventas de vehículos eléctricos. En España, aunque pueda parecer que el mercado está estancado, a nivel global se prevé que uno de cada cuatro vehículos vendidos este año sea eléctrico, impulsado principalmente por China, el mayor mercado automovilístico del mundo. Esta es una tendencia global.

Este fenómeno está estrechamente vinculado al avance tecnológico en materiales y procesos de fabricación, que ha permitido reducir aún más los costes. Por tanto, no solo los costes de las tecnologías limpias han caído rápidamente, sino que seguirán haciéndolo, impulsando una revolución exponencial en su desarrollo.

Europa debe decidir si lidera esta transformación o queda rezagada. Además, esta transición tiene la ventaja añadida de ser positiva desde el punto de vista medioambiental y de las emisiones.

En definitiva, todo apunta a que los beneficios son múltiples. Y si, además, somos capaces de generar electricidad limpia y competitiva, ¿por qué no adoptarla en todos nuestros usos energéticos?

La electricidad es una forma de energía extremadamente versátil: puede transformarse fácilmente en iluminación, calor o movimiento, y lo hace con gran eficiencia. Por ejemplo, una caldera de gas convierte en calor solo entre el 85 % y el 95 % del gas que consume. En cambio, una bomba de calor, que extrae energía del entorno, puede entregar entre tres y cuatro veces más energía de la que consume.

En el ámbito del transporte ocurre algo similar. Un motor de combustión interna tiene una eficiencia inferior al 20%, mientras que un vehículo eléctrico puede alcanzar eficiencias cuatro veces superiores. Aunque algunos los comparan con lavadoras por su simplicidad mecánica, lo cierto es que recorren muchos más kilómetros por unidad de energía.

Por tanto, las tecnologías eléctricas no solo son más limpias, sino también más eficientes, y nos permiten avanzar hacia un modelo energético más racional y sostenible.

La transición energética que estamos viviendo puede representarse mediante un triángulo conceptual que articula sus tres pilares fundamentales:

1. Una mayor disponibilidad de energías renovables,
2. Sistemas de almacenamiento que permitan equilibrar la oferta y la demanda,
3. Y una infraestructura de redes que actúe como vínculo para transportar la energía desde los puntos de generación hasta los de consumo.

Este equilibrio es esencial, como quedó patente en el reciente apagón y que guarda relación directa con la falta de sincronización entre generación y demanda. Las redes eléctricas, en este contexto, se convierten en el elemento vertebrador de la nueva economía energética.

A ello se suman tecnologías como los camiones eléctricos o el hidrógeno, que permiten descarbonizar sectores intensivos en calor o transporte. Los objetivos de capacidad renovable —por ejemplo, los 12 GW del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)— no están en camino de alcanzarse. No obstante, es fundamental que los planes energéticos sean realistas; de lo contrario, sus previsiones carecerán de impacto.

Un gráfico ilustrativo muestra la evolución de la matriz energética mundial a lo largo de los años y las proyecciones futuras. La curva descendente del carbón refleja su progresiva desaparición, mientras que el gas natural se mantiene como fuente de transición. En cuanto al petróleo, su peso también se reduce. En países como España, ya nos acercamos a los niveles de energías renovables que se consideran deseables a escala global. Portugal incluso supera estos niveles, y Alemania, entre otros, también avanza en esa dirección. China, aunque aún depende en gran medida del carbón, lidera el mundo en instalación de capacidad renovable.

Esta capacidad de generación se traduce, en algunos países más que en otros, en un mayor uso de la electricidad en la industria. A menudo se critica que los productos chinos no son sostenibles o tecnológicamente avanzados. Sin embargo, los datos muestran que el grado de electrificación de la economía china ha crecido de forma sostenida, alcanzando ya cerca del 30 %. China, siendo una economía industrial, produce más utilizando electricidad que Europa. Aunque parte de esa electricidad proviene del carbón, también es el país que más renovables instala en el mundo.

Este cambio no está motivado por el compromiso climático, sino por una necesidad estratégica: China carece de recursos fósiles abundantes. Tiene carbón, pero no dispone de gas ni petróleo en cantidades significativas. Por ello, su planificación quinquenal ha priorizado la electrificación como vía para reducir su dependencia energética.

En este contexto, China lidera también el mercado de vehículos eléctricos. Actualmente, uno de cada dos vehículos vendidos en el país es eléctrico. No debería sorprendernos que los fabricantes chinos estén entrando con fuerza en el mercado europeo: han desarrollado esta tecnología para su propio consumo, y ahora, gracias a su escala e innovación, la exportan.

Otro ejemplo de esta transformación son los centros de datos, que representan la nueva industria digital. Aunque en España aún estamos rezagados, el consumo eléctrico de estos centros se triplicará en los próximos cinco años. Lo mismo ocurrirá con el consumo eléctrico asociado a la refrigeración, un fenómeno que ya se observa en países como India o China, donde se está electrificando no solo el calor, sino también el frío.

El valor de esta transformación energética se mide en millones de euros. No solo por lo que ya conocemos, sino porque las empresas están posicionándose en un sector de alto crecimiento.

En cuanto a los vehículos eléctricos, las cifras son elocuentes: actualmente hay más de 60 millones de unidades en circulación. Solo el año pasado se vendieron 17 millones, y este año se espera alcanzar los 23 millones, sobre un total de algo más de 80 millones de vehículos vendidos. Para 2030, se estima que habrá cerca de 300 millones de vehículos eléctricos en circulación, lo que implicará inversiones masivas en infraestructura de recarga y generación eléctrica.

Muchas de las barreras que dificultaban la adopción de estos vehículos están desapareciendo. La principal era el coste, pero la drástica reducción del precio de las baterías ha permitido el desarrollo de modelos con mayor autonomía y precios más asequibles. Hoy, prácticamente todas las marcas ofrecen versiones híbridas, eléctricas o de combustión interna, y la potencia de recarga está aumentando significativamente.

Por ejemplo, nuestra compañía, en colaboración con BP, ha desarrollado puntos de recarga de alta potencia. En muchos de ellos, es posible recargar 400 kilómetros de autonomía en el tiempo que se tarda en tomar un café. Este tipo de avances hace que el vehículo eléctrico sea una opción cada vez más razonable.

Nuestra estimación es que, en un futuro cercano, cuando un consumidor acuda a un concesionario, podrá elegir entre un modelo de combustión interna, uno híbrido o uno eléctrico. Y el eléctrico será el más barato, tanto en precio de adquisición como en coste por kilómetro recorrido. Hoy, recorrer 100 kilómetros en un coche eléctrico puede costar menos de dos euros, frente a los diez euros que costaría con gasolina.

Esto ya ocurre en Noruega, donde nueve de cada diez vehículos vendidos son eléctricos. Aunque inicialmente se incentivó su adopción mediante subvenciones, se prevé que estas ya no serán necesarias, dado que los precios seguirán bajando.

Además, los usos de la electricidad no se limitan al transporte o la climatización. Gracias a la tecnología, estamos ampliando los límites de la electrificación hacia nuevos sectores. Ya existen ferris eléctricos, y es perfectamente viable realizar trayectos de media distancia — como Madrid-Bilbao — en aviones eléctricos. El transporte de mercancías por carretera también podría electrificarse en el futuro. En Madrid, por ejemplo, la mayoría de los autobuses que se adquieren actualmente ya son eléctricos, debido a su mayor eficiencia y menor impacto ambiental.

En definitiva, estamos alcanzando lo que se conoce como el “pico del petróleo”, no en términos de producción, sino de consumo. Aunque se pudiera producir más, la demanda está disminuyendo. El futuro es eléctrico, y lo es no solo por razones ambientales, sino también por eficiencia, competitividad y autonomía estratégica.

Con todo el sesgo que se me pueda atribuir por trabajar en una compañía eléctrica, estoy convencido de que la electrificación renovable es la base sobre la cual se construirá la industria del futuro.