

La revolución del hidrógeno verde vista desde Europa

Dawud Ansari / Julian Grinschgl
Jacopo Maria Pepe

Mediante el plan REPOWEREU, la Unión Europea se propone ahorrar energía, producir energía limpia y diversificar su abastecimiento. En ese marco, adquiere un papel esencial el hidrógeno verde. Esta fuente de energía conlleva importantes desafíos productivos, pero también involucra variables geopolíticas, en el contexto de la invasión de Ucrania y el creciente papel de China.

Debido a la crisis del gas en Europa y la invasión rusa de Ucrania, los funcionarios europeos consideran de máxima urgencia impulsar el mercado del hidrógeno. Sin embargo, los ambiciosos objetivos del hidrógeno verde representan un enorme desafío para la Unión Europea y su joven economía del hidrógeno. Además de la demanda de electricidad, existe, ante todo, una insuficiente capacidad de producción de electrolizadores. La escala de producción de electrolizadores

Dawud Ansari: es auxiliar en la División de Investigación de Problemas Globales de la Fundación de Ciencias y Política (Stiftung Wissenschaft und Politik, swp).

Julian Grinschgl: es asistente de investigación en la División de Investigación de Problemas Globales de la swp.

Jacopo Pepe: es auxiliar en la División de Investigación de Problemas Globales de la swp.

Palabras claves: hidrógeno verde, metales raros, REPOWEREU, Unión Europea.
Nota: la versión original de este artículo en inglés se publicó con el título «Electrolysers for the Hydrogen Revolution», swp, 29/9/2022. Forma parte del proyecto «Geopolítica de la transición energética: hidrógeno», financiado por el Ministerio Federal de Relaciones Exteriores de Alemania. Traducción: Carlos Díaz Rocca.

a la que se apunta es casi imposible de lograr y entra también en conflicto con los esfuerzos de importación; además, consolida nuevas dependencias con proveedores de materias primas claves y componentes críticos. Si bien es posible prescindir, en términos generales, del suministro de materias primas provenientes de Rusia, no hay forma de que la UE logre sus objetivos sin China. Aparte de la relajación en las regulaciones y la gestión activa del suministro de materias primas, Europa también debería replantearse su sesgada preferencia por el hidrógeno verde.

La actual crisis energética y la invasión rusa de Ucrania han hecho que el hidrógeno tenga un papel cada vez más central en los planes de política climática y energética de la UE. La Unión impuso metas ambiciosas ya en 2020 para su estrategia del hidrógeno. Sin embargo, la más reciente propuesta de la Comisión Europea, REPOWEREU, especifica y eleva esas metas de forma drástica. En primer lugar, los 10 millones de toneladas de producción anual de hidrógeno exigidos anteriormente dentro de la UE se complementarán con otros 10 millones de toneladas importadas anualmente para 2030. En segundo lugar, REPOWEREU corrige la estimación anterior de la capacidad de electrólisis doméstica requerida: no se necesitarán 40 GW, sino 120 GW de capacidad de electrólisis para producir 10 millones de toneladas de hidrógeno en Europa. Las metas revisadas tienen por objeto alcanzar los objetivos de emisiones de la UE, Fit for 55, así como independizarse energéticamente de Rusia¹.

La Comisión Europea planea confiar exclusivamente en el hidrógeno verde. Este se obtiene mediante la separación de partículas de agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) dentro de un electrolizador alimentado por electricidad renovable sin emisiones directas de dióxido de carbono (CO_2). Sin embargo, también existen otras tecnologías bajas en carbono que producen hidrógeno, como el reformado con vapor del gas natural, incluida la captura de CO_2 , que produce lo que se conoce como hidrógeno azul.

Resta saber si los ambiciosos objetivos de la UE se pueden hacer realidad cuando se depende de una única tecnología. La electricidad renovable adicional necesaria para producir 10 millones de toneladas de hidrógeno equivaldría a casi toda la generación de electricidad de los 27 países de la UE partiendo de energía eólica y solar en 2021. Pero será un desafío aún mayor la propia fabricación de electrolizadores: la capacidad actualmente instalada de electrólisis en la UE deberá aumentar casi 900 veces en apenas ocho años. Es más: Europa se enfrenta al doble desafío de aumentar la capacidad de electrólisis y, al mismo tiempo, asegurar su propia cuota de mercado en la fabricación de electrolizadores.

1. Fit for 55 es un paquete diseñado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE en 55% para 2030 [N. del E.].

En el mundo emergente con energías basadas en la tecnología –y dada la creciente competencia económica y geopolítica–, una rápida expansión de la capacidad de electrólisis y la capacidad de fabricar electrolizadores pueden convertirse en factores decisivos para decidir dónde se construirán plantas industriales. Europa sigue teniendo en la actualidad una posición fuerte dentro del mercado y la UE está tratando de hacer hincapié en su soberanía en la política industrial y energética. Por ejemplo, el Pacto Verde y la Estrategia Industrial Europea apelan a la creación de cadenas de valor estratégicas en torno de las tecnologías de energía renovable. Con la Alianza del Hidrógeno Limpio, la UE tiene como meta promover proyectos piloto del sector privado y aumentar rápidamente la producción de hidrógeno. La cuestión de las cadenas resilientes de suministro de materias primas también está ganando terreno dentro de la agenda de la Unión.

Sin embargo, los planes actuales apenas parecen considerar la geopolítica, la política industrial y la política de recursos, en especial en lo que atañe a los electrolizadores. En el contexto de la amenazante fragmentación de la economía mundial y la aparición de una globalización caracterizada por el mercantilismo, lo primero que se debe hacer es identificar las posibles dependencias y vulnerabilidades de la industria europea de electrolizadores para ponerse a resguardo de los riesgos (geopolíticos). Resulta fundamental considerar las cadenas de suministro de materias primas y el abastecimiento de componentes críticos, así como el creciente dominio del mercado por parte de los competidores en la fabricación de electrolizadores.

El Pacto Verde y la Estrategia Industrial Europea apelan a la creación de cadenas de valor estratégicas en torno de las tecnologías de energía renovable

¿Qué electrolizadores son aptos para Europa?

Las diversas tecnologías de electrólisis difieren principalmente en los componentes utilizados y en la madurez de las tecnologías mismas. En la actualidad, solo dos tecnologías están lo suficientemente maduras y es probable que representen la mayor parte de la capacidad de electrólisis que se instalará en las próximas décadas: electrolizadores alcalinos (unidades AEL) y electrolizadores de membrana de intercambio de protones o membrana polimérica electrolítica (PEM, por sus siglas en inglés).

Los AEL son el tipo de electrolizador más antiguo, más maduro y más extendido, pues representan 61% de la capacidad instalada mundial. Sus ventajas radican en la relativa simpleza del diseño del electrolizador y, por

lo tanto, en un proceso de fabricación comparativamente sencillo. Las unidades AEL son lo suficientemente flexibles como para reaccionar con adecuada velocidad a la generación intermitente de energía solar y eólica. Sin embargo, su tiempo de arranque en frío (más de 50 minutos) es bastante largo, por lo que esta tecnología es más adecuada para el funcionamiento con carga base que para los picos de carga.

Los electrolizadores PEM son más recientes que los AEL. Su cuota del mercado global es en la actualidad inferior a 31%, pero está creciendo rápidamente. Ante todo, la tecnología PEM ofrece un tiempo de arranque en frío muy breve, de solo 10 a 20 minutos, y un tiempo aún menor de reacción a la fluctuación de la producción de electricidad. Por lo tanto, las unidades PEM son particularmente aptas para las horas pico en redes eléctricas con una alta proporción de energías renovables. Sin embargo, en términos técnicos, son menos maduras, y como requieren metales raros para su fabricación, suelen ser más caras que los modelos AEL.

Si bien Europa ha apostado por el hidrógeno verde, su política parece imparcial con respecto a la tecnología de electrólisis. Esto es inteligente, ya que la capacidad de electrólisis de todas las fuentes posibles será útil para cumplir con las metas de producción.

Cadenas de suministro de materias primas y componentes críticos

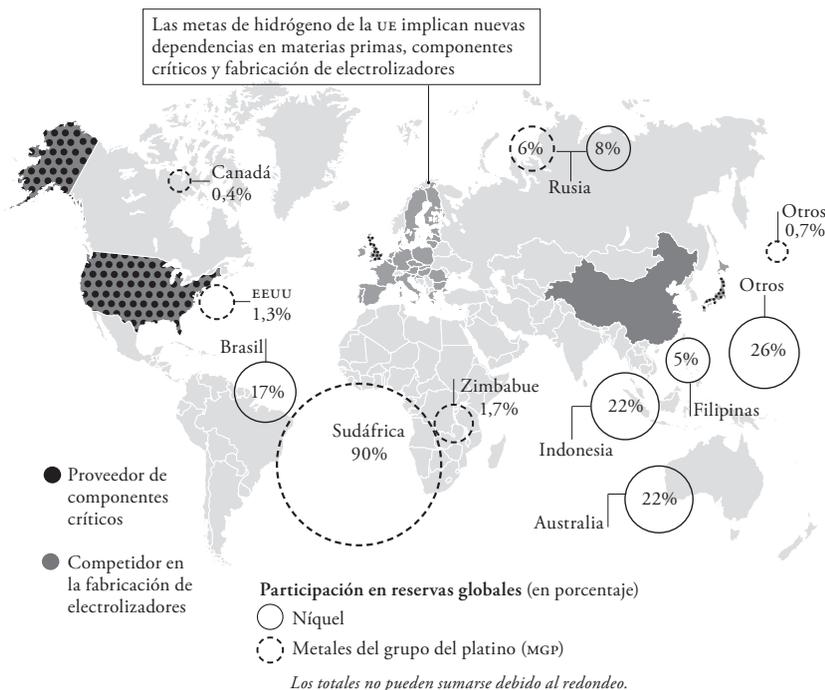
La expansión masiva del parque de electrolizadores de Europa requiere de una mirada crítica sobre las cadenas de suministro de ambas tecnologías de electrólisis. Se debe distinguir entre las etapas previas en las cadenas de suministro de materias primas y los componentes críticos (o sea, partes de plantas producidas industrialmente).

Níquel y platino: Indonesia y Sudáfrica son (a duras penas) una alternativa a Rusia y China

Las unidades de electrólisis AEL no necesitan metales raros; solo necesitan níquel y acero inoxidable (níquelado). Si bien los yacimientos de níquel no son escasos ni están geográficamente concentrados, el suministro es problemático. Hasta hoy, entre 35% y casi 50% (medido en valor comercial o en peso) de todas las importaciones de níquel a Alemania y toda la UE proceden de Rusia. Este país es el cuarto del mundo en reservas de níquel y, por lo tanto, es un jugador relevante tanto para el níquel no refinado como para el refinado. Otros países, como la India (22%), Filipinas (5%) y Australia (22%), representan en conjunto casi la mitad de las reservas

Gráfico

Hidrógeno verde para la UE: competidores en la fabricación de electrolizadores y proveedores de materias primas



Tres principales proveedores mundiales de níquel no refinado 2020		Tres principales proveedores mundiales de níquel refinado Incluyendo fundición, 2020		Tres principales proveedores mundiales de platino 2020		Tres principales proveedores mundiales de iridio 2020	
Indonesia	18%	China	29%	Sudáfrica	71%	Sudáfrica	92%
Filipinas	17%	Rusia	12%	Rusia	13%	Zimbabue	5%
Australia	11%	Japón	10%	Zimbabue	7%	Canadá	2%
Rusia	11%						

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS): *Mineral Commodity Summaries 2022*, USGS, Reston, 2022; Gian Andrea Blengini et al.: *Study on the EU's List of Critical Raw Materials: Final Report*, Oficina de Publicaciones de la UE, Luxemburgo, 2020.

mundiales; también tienen una participación similar en la producción minera mundial de níquel. Pueden, por lo tanto, ser una alternativa al suministro ruso. Sin embargo, en 2020, Indonesia prohibió la exportación de níquel en bruto para dejar dentro de sus fronteras el refinado y su valor agregado.

La UE ya ha presentado un reclamo ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) contra la política indonesia. Filipinas está siguiendo una estrategia similar. La capacidad de refinado de Australia, por su parte, cubre solo 7% del mercado global.

China es un actor clave en la fundición (una importante etapa previa al refinado) y el refinado de níquel, a pesar de las ambiciones de Indonesia y Filipinas. Si bien el país no posee grandes reservas de níquel, se cree que sus operaciones de fundición y refinado superan, respectivamente, las tres cuartas partes y un tercio del suministro mundial. Por lo tanto, la UE debe decidir entre comprar níquel fundido o refinado de Indonesia —para lo cual competirá con China—, o níquel en bruto de Australia y Filipinas, que hasta ahora se ha fundido principalmente en China. Los posibles costos y riesgos que surgen de la pretensión de independizarse de Rusia son significativos.

Sin embargo, la situación relativa a los electrolizadores PEM es aún más compleja. Los cátodos y los ánodos de las unidades PEM suelen estar hechos de platino e iridio, respectivamente. Estos pertenecen a los llamados metales del grupo del platino (MGP) y se encuentran entre los metales más escasos, más intensivos en carbono y más caros. No se conocen alternativas al uso de iridio en unidades PEM. La dependencia europea de las importaciones de platino e iridio llega a 98% y 100%, respectivamente.

Los yacimientos mundiales de MGP están muy concentrados en Sudáfrica, que es el mayor proveedor de platino e iridio del planeta. Las actuales tasas de extracción de ambos metales solo permitirán un aumento anual de la capacidad de electrólisis de PEM de 3 GW a 7,5 GW. Sin embargo, se espera que la demanda aumente masivamente para 2030, lo que requerirá un crecimiento sustancial en la actividad minera.

La escasez de iridio no es tanto resultado de la escasez geológica como de las condiciones sociales y económicas requeridas para el aumento de la actividad minera. En 2013, por ejemplo, violentas protestas contra las condiciones de trabajo en las minas sudafricanas de platino llevaron a una prohibición temporal de las exportaciones y a grandes aumentos de los precios. Rusia es el segundo proveedor más importante de platino para Europa y el mundo, ya que representa 13% del suministro total. Por lo tanto, independizarse del suministro ruso profundizará aún más la dependencia europea de las importaciones provenientes de Sudáfrica. Zimbabue (que actualmente aporta 7% de todo el platino del mundo y 5% del iridio) enfrenta situaciones de una fragilidad similar a las de Sudáfrica y, por lo tanto, está expuesto a los mismos riesgos. Es prácticamente

Los yacimientos mundiales de MGP están muy concentrados en Sudáfrica, que es el mayor proveedor de platino e iridio del planeta

imposible una diversificación genuina del suministro de MGP, ya que Sudáfrica también tiene las mayores reservas (90%). Algunos países mineros más estables, como EEUU y Canadá, experimentarán un aumento en la demanda de MGP, en especial porque las empresas estadounidenses también están considerando fabricar electrolizadores PEM. EEUU confía en la Ley de Producción de Defensa para impulsar la producción nacional de MGP y así satisfacer su propia demanda, razón por la cual el país, que representa solo 2% del suministro mundial de platino, podría dejar de abastecer al mercado mundial.

En resumen, diversificar el suministro de níquel por fuera de Rusia genera costos considerables pero superables, mientras que no existe alternativa alguna para la dependencia europea de la fundición de níquel en China y los MGP de Sudáfrica.

Dependencias en componentes críticos para electrolizadores PEM

La producción de unidades AEL no requiere de ningún componente cuya seguridad de suministro presente riesgos específicos. Todos los componentes son materiales industriales ordinarios y se pueden obtener dentro de Europa.

La cadena de suministro de electrolizadores PEM es similar a la de las unidades AEL, aunque menos desarrollada y con menos proveedores. La alta concentración del mercado crea dependencias, principalmente de empresas de EEUU, Japón y Reino Unido. Aunque estos países difícilmente planteen un riesgo geopolítico, la concentración del mercado hace vulnerable a la UE frente a la evolución de los precios y los problemas logísticos.

Se considera que tres componentes de las unidades PEM son especialmente críticos: las membranas poliméricas electrolíticas, los soportes catalíticos y el conjunto de electrodos de membrana.

Las membranas poliméricas electrolíticas reemplazan el electrolito líquido utilizado en los modelos AEL y son fundamentales para el rendimiento de los electrolizadores PEM y la pureza del hidrógeno. Hay un productor con sede en Europa que suministra la materia prima para la membrana, por lo que el riesgo es manejable. Sin embargo, las membranas en sí deben importarse de Reino Unido, EEUU o Japón. Esto permite a esos tres países mantener las ventajas existentes en tecnología y escalamiento de la producción.

Los soportes catalíticos de los electrolizadores PEM mejoran las reacciones electroquímicas de la celda. Las tres empresas líderes en la producción de estos componentes tienen su sede en la UE, Reino Unido y Japón, respectivamente. También en este caso, la ventaja tecnológica de quienes ya producen es una importante barrera de entrada para los recién llegados.

El conjunto de electrodos de membrana –un apilamiento armonizado de membranas de intercambio de protones, catalizadores y electrodos– es

esencial para el rendimiento de los electrolizadores. Uno de los principales productores tiene su sede en el Reino Unido, pero otros fabricantes, especialmente en China, están escalando su capacidad de fabricación.

Mayor escala en la fabricación de electrolizadores

Europa tiene una posición fuerte, pero existen barreras para elevar la escala

La (falta de) capacidad de producción de electrolizadores es otro obstáculo para que la UE alcance sus metas. Según la Comisión Europea, alcanzar los objetivos de REPOWEREU, solo para la producción nacional, requerirá de 120 GW de capacidad de electrólisis. Sin embargo, la capacidad de electrólisis de toda la UE en 2021 fue de solo 0,135 GW, y la capacidad de producción global en 2020 se limitó a unos 2 GW por año. La UE ya anunció 118 GW de capacidad de electrólisis para 2030 (de los cuales 73 GW estarán en España), pero las decisiones finales de inversión aún están pendientes en la mayoría de los casos. Solo 64 de los 750 proyectos piloto dentro de la Alianza Europea de Hidrógeno Limpio apuntan a la fabricación de electrolizadores.

Europa ya alberga fabricantes de electrolizadores con experiencia en todas las variantes, así como sólidos centros de investigación. Estos actores incluyen a grandes actores industriales, como ThyssenKrupp y Siemens, así como a empresas más pequeñas, que a menudo se centran en tecnologías emergentes que aún no están maduras. En la actualidad, 60% de la capacidad mundial de fabricación de electrolizadores y 40% de la capacidad de electrólisis se encuentran en la UE. Además, Europa es líder en materia de tecnología: posee aproximadamente 40% de todas las patentes relevantes. Su liderazgo es particularmente fuerte en lo que respecta a los PEM.

En la actualidad, 60% de la capacidad mundial de fabricación de electrolizadores y 40% de la capacidad de electrólisis se encuentran en la UE

Sin embargo, los fabricantes de electrolizadores suelen quejarse de que sus clientes aún tienen que tomar decisiones finales de inversión, razón por la cual no se puede ampliar la escala de fabricación. Los clientes, por su parte, critican los estrictos requisitos legales propuestos en los borradores para la ley delegada de la Comisión Europea. Esto es decisivo para la definición del hidrógeno verde y las condiciones requeridas para su producción.

El borrador original especificaba la «adicionalidad»: a partir de finales de 2026, solo se utilizará para electrólisis la electricidad de parques solares

y eólicos de construcción reciente y no subvencionados. En segundo lugar, requería una correlación espacial y temporal: a partir de 2027, un electrolizador solo podría utilizar electricidad generada en la misma hora, en la misma zona licitada y por plantas directamente conectadas al electrolizador. Sin embargo, estas estrictas reglas ignoran el hecho de que los electrolizadores deben funcionar durante por lo menos 4.000 horas cada año para que sus costos sean competitivos. Por lo tanto, una votación reciente del Parlamento Europeo rechazó estas dos disposiciones. Para un aumento rápido del mercado, se necesita discutir más la definición de «hidrógeno limpio».

China, en marcha hacia el control del mercado

Además de los obstáculos regulatorios, la industria europea de electrolizadores también se enfrenta a una fuerte competencia, principalmente de China. En la actualidad, este país posee cerca de 35% de la capacidad de fabricación mundial de electrolizadores. Aunque la capacidad de fabricación europea supera la china, el país asiático ya se ha convertido en el mayor productor mundial de electrolizadores. La ventaja de China se basa en costos significativamente más bajos: puede producir electrolizadores con niveles de eficiencia y calidad similares a los europeos, pero a una quinta parte del costo. China se ha enfocado hasta ahora en las unidades AEL, de las que representa la mitad de la producción mundial.

La tendencia va en veloz aumento: en 2022 se espera que la capacidad china de producción se quintuple y llegue a 2,5 gw por año. Este desarrollo está siendo impulsado activamente por el Estado y la industria. El 14º Plan Quinquenal de China (2021-2025) menciona el sector del hidrógeno como una de las seis prioridades industriales. Los principales fabricantes de sistemas solares fotovoltaicos, así como empresas estatales, han ingresado en el mercado. Están siguiendo la misma estrategia que ya les ha dado el dominio en otros sectores, como la industria fotovoltaica: aumento masivo de la producción, reduciendo así los costos unitarios de producción, y promoción de un rápido progreso tecnológico. Hasta ahora, China solo ha abastecido a su mercado interno. Sin embargo, la industria recurre cada vez más a los clientes internacionales, a precios más altos: por ejemplo, en los países del Golfo Pérsico.

Una carrera mundial por una cuota del mercado... y electrolizadores

¿Enfrentará la industria europea de electrolizadores el mismo destino que la antigua industria fotovoltaica? El interrogante sigue sin respuesta.

Sin embargo, debe aclararse que ambas industrias son estructuralmente diferentes: los módulos solares fotovoltaicos son de tamaño pequeño, fáciles de transportar, y su producción está en gran medida estandarizada. Por el contrario, los electrolizadores son más voluminosos y suelen personalizarse. Además, la industria fotovoltaica europea estaba dominada principalmente por empresas más pequeñas y jóvenes, mientras que la mayoría de los fabricantes europeos de electrolizadores son grandes multinacionales. En cualquier caso, el ascenso de China al primer lugar en producción mundial de unidades AEL muestra que el liderazgo tecnológico europeo y la posición de Europa dentro del mercado se están deteriorando. Incluso con la tecnología PEM, China se está afianzando gradualmente. También EEUU está cada vez más interesado en el mercado y el país se ha convertido en un serio competidor en la producción de los electrolizadores PEM.

Por lo tanto, los electrolizadores podrían convertirse en un cuello de botella global para la expansión del mercado del hidrógeno. Incluso el aumento esperado de 400% en la capacidad de producción europea para 2023 es poco probable que satisfaga las ambiciones de la UE. Para que los planes se hagan realidad, se necesitaría un progreso sin precedentes en la expansión de la capacidad: algo que solo es factible con un control centralizado sobre los recursos, como en tiempos de guerra. Por lo tanto, para alcanzar sus objetivos, Europa podría tener que depender de la floreciente industria china de electrolizadores, lo que incluye nuevas dependencias.

REPOWEREU no solo apunta a producir hidrógeno verde dentro de la Unión, sino que además demanda una cantidad igual de importaciones

Es de destacar que REPOWEREU no solo apunta a producir hidrógeno verde dentro de la Unión, sino que además demanda una cantidad igual de importaciones, lo que también requerirá de electrolizadores. Dado que las capacidades globales de fabricación de electrolizadores son limitadas, el aumento paralelo de las importaciones y de la producción nacional podría crear difíciles compensaciones. Es más, también existen planes para la producción y el uso de hidrógeno más allá de las fronteras de Europa. Con la Alianza China del Hidrógeno, el país apunta a una escala similar a la de la Comisión Europea: 100 gw para 2030. Por lo tanto, y según sea la velocidad de la expansión (global) de la capacidad de fabricación de electrolizadores, las ambiciosas metas de instalación podrían consolidar nuevas dependencias y/o aumentar enormemente los precios de los electrolizadores.

Recomendaciones políticas: realismo, pragmatismo, estrategia

Los electrolizadores están en el corazón del emergente mundo del hidrógeno verde. Sin embargo, muchas veces no se presta la debida atención a los desafíos asociados al aumento de la escala de fabricación. Tal como están las cosas hoy, los objetivos de la propuesta REPOWEREU son difíciles de llevar a la práctica. Alcanzarlos requiere tasas de crecimiento casi imposibles en minería, metalurgia, fabricación de electrolizadores y generación de electricidad. El aumento acelerado del mercado busca promover la independencia de las importaciones de energía rusa; sin embargo, los electrolizadores crean nuevas dependencias. Un cuello de botella global podría impulsar la competencia por los electrolizadores y, por lo tanto, encarecer aún más el hidrógeno verde.

A pesar de estas condiciones desfavorables, la UE, sus Estados miembros y sus empresas podrían tratar de aminorar estos problemas. Seis medidas lo harían posible.

Primero, la UE, sus Estados miembros y sus empresas deben abordar los riesgos relacionados con las dependencias en la cadena de suministro de materias primas para electrolizadores. Una combinación de innovación tecnológica y apoyo gubernamental puede resultar la mejor solución. Dado que parece difícil, o incluso imposible, lograr una diversificación de proveedores de MGP, es imperativo construir rápidamente una infraestructura de reciclaje, por un lado, y reducir la carga de iridio en los electrolizadores PEM por el otro.

Además, una comunicación clara sobre el nivel exacto de demanda de esos metales permitirá a los proveedores de materias primas planificar con anticipación y brindar seguridad de inversión para nuevos proyectos mineros. La mayoría de los países de la UE carecen de empresas mineras internacionales propias. Sin embargo, el ejemplo de la agencia estatal japonesa JOGMEC muestra que se pueden promover los proyectos mineros extranjeros mediante préstamos, inversiones y garantías. La UE debería desarrollar un instrumento similar para impulsar las actividades mineras privadas extranjeras y, además, considerar la creación de una empresa europea líder en minería.

En segundo lugar, es necesario considerar aspectos de sustentabilidad en las cadenas de suministro de recursos. Tal como lo han demostrado las protestas mineras en Sudáfrica, descuidar la sustentabilidad puede afectar la seguridad del suministro. El fortalecimiento de las asociaciones público-privadas y de las capacidades de las instituciones públicas en los países mineros garantiza que se tengan más en cuenta los criterios ambientales y sociales, lo que posiblemente evite disturbios e interrupciones del suministro.

En tercer lugar, deben negociarse o ampliarse asociaciones bilaterales específicas de materias primas (especialmente con Indonesia, Filipinas, Australia y Sudáfrica) para ciertos productos básicos como el níquel o los MGP. Asimismo, se deben promover mediante préstamos e inversiones los procesos de refinación local. En cuanto a los roles potenciales de Indonesia y las Filipinas como proveedores alternativos a China y Rusia, la integración de un componente de materias primas en el Acuerdo de Libre Comercio UE-Asociación de Naciones de Asia Sudoriental (ASEAN) que se está negociando actualmente brinda una atractiva oportunidad.

Cuarto, la política debe apoyar de manera activa a los fabricantes europeos de electrolizadores para aumentar rápidamente la escala de producción. El apoyo del gobierno para escalar la producción, préstamos apropiados y una demanda garantizada deberían proporcionar incentivos suficientes para quienes desarrollan proyectos. La Comisión Europea ha propuesto recientemente la creación de un banco de hidrógeno de la UE para actuar como comprador de 10 millones de toneladas de hidrógeno. Sin embargo, sigue sin estar claro si este banco también garantizará la demanda de importaciones. Definir el hidrógeno en función de su huella de CO₂ en lugar de hacerlo por el proceso de producción es otro paso crucial que ayudará a los productores. Además, seguir con atención la competencia es clave: Hydrogen Europe, la asociación europea de la industria del hidrógeno, ya está advirtiendo sobre un «éxodo masivo» de la industria europea del hidrógeno verde hacia EEUU si la Comisión Europea se niega a elaborar regulaciones sencillas y generosas como las estadounidenses. Su Ley de Crédito Fiscal para la Inversión y la Producción de Hidrógeno Limpio posibilita créditos fiscales integrales para la producción de hidrógeno «limpio», algo que se evalúa simplemente en función de la reducción de CO₂ en comparación con la producción de hidrógeno convencional. Junto con reglas más simples para la producción, es probable que se produzca un desplazamiento masivo de los flujos de capital hacia EEUU si Europa se niega a hacer lo mismo y flexibilizar sus regulaciones. La reciente votación del Parlamento Europeo es un paso importante, pero aún insuficiente, para evitar un éxodo de productores.

Quinto, cuando se trata de China, el deseo de soberanía e independencia debe equilibrarse con el mantenimiento de las cadenas de suministro necesarias. Difícilmente se pueda ignorar a China, tal vez sí en relación con la creación de capacidades de electrolizadores dentro de la UE, pero no en cuanto a aumentar las capacidades de electrolizadores en países de los que la Unión busca importar hidrógeno. Europa tampoco debería dar por sentado su liderazgo en tecnología de electrolizadores. Aunque todavía lleva la delantera en términos de patentes y capacidades de producción, China ya la

ha superado en cuanto a la cuota del mercado. El dominio del mercado por parte de China está creciendo claramente, lo cual crea un *trade-off* para la UE y Alemania, ya que un veloz incremento de la escala de la capacidad global de electrólisis difícilmente sea posible sin China.

Sexto, el hidrógeno azul debería ser parte de los planes de hidrógeno europeos. En lugar de limitar el objetivo tecnológico *ex ante*, la huella de CO₂ de la producción de hidrógeno puede ser evaluada de forma sencilla usando el precio de la UE para el CO₂. Este simple procedimiento orientará la producción y las importaciones de hidrógeno hacia un hidrógeno verde sin emisiones de carbono. En Europa, las dificultades regulatorias y la crisis del gas hacen que el hidrógeno azul no sea competitivo: allí, el hidrógeno verde se ha convertido prematuramente en la forma más barata de hidrógeno; pero en regiones con precios de gas más bajos (como los países del Golfo Pérsico), el hidrógeno azul sigue siendo más barato. Se necesitará más investigación para examinar qué instrumentos (como contratos a largo plazo, infraestructura especializada) son los más adecuados para garantizar que los exportadores reemplacen el gas natural licuado por hidrógeno azul en el mediano plazo.

La falta de electrolizadores es suficiente para concluir que la UE no alcanzará sus metas solo con hidrógeno verde. La importación de hidrógeno azul puede mejorar los objetivos en conflicto que resultan de la expansión simultánea de las capacidades de electrólisis nacionales y extranjeras. Construir el marco en torno de la huella de CO₂ del hidrógeno evita en gran medida las desventajas que enfrentan los productores europeos de hidrógeno en comparación con los extranjeros. Este paso también simplificaría la creación de un marco regulatorio y de certificación global armonizado.

Dadas las realidades actuales de los mercados energéticos globales y las circunstancias geopolíticas, la UE debe hacer de la mejora de las capacidades de electrólisis una prioridad. En este contexto, el aumento del mercado del hidrógeno debe prevalecer sobre las preferencias individuales por ciertas tecnologías. Es de suma importancia que la UE planifique de manera realista, se comporte de manera pragmática y actúe de manera estratégica. ☒