



Consejo de la
Unión Europea

Bruselas, 17 de noviembre de 2022
(OR. en)

14916/22

ENER 605
CLIMA 610
RECH 604
COMPET 915
IND 483
TRANS 719
EMPL 435

NOTA DE TRANSMISIÓN

De:	Por la secretaria general de la Comisión Europea, D. ^a Martine DEPREZ, directora
Fecha de recepción:	15 de noviembre de 2022
A:	D. ^a Thérèse BLANCHET, secretaria general del Consejo de la Unión Europea
N.º doc. Ción.:	COM(2022) 643 final
Asunto:	INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias

Adjunto se remite a las Delegaciones el documento – COM(2022) 643 final.

Adj.: COM(2022) 643 final



Bruselas, 15.11.2022
COM(2022) 643 final

INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO

Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias

Índice

1.	Introducción	1
2.	Competitividad general del sector de las energías limpias de la UE	3
2.1	Contexto: evolución reciente	3
2.1.1	<i>Precios y costes de la energía: tendencias recientes</i>	3
2.1.1	<i>Cadenas mundiales de suministro de recursos y materiales: vulnerabilidades y perturbaciones</i>	6
2.1.2	<i>Impacto de la COVID-19 y recuperación</i>	8
2.1.3	<i>Capital humano y capacidades</i>	10
2.2	Tendencias en materia de investigación e innovación	14
2.3	Panorama competitivo mundial en el ámbito de las energías limpias	17
2.4	Panorama de la financiación de la innovación en la UE	19
2.5	Repercusiones del cambio sistémico	23
3.	Enfoque en tecnologías y soluciones de energías limpias esenciales	24
3.1.	Energía solar fotovoltaica	25
3.2.	Energía eólica marina y terrestre	27
3.3.	Bombas de calor para aplicaciones de construcción	30
3.4.	Baterías	32
3.5.	Producción de hidrógeno renovable mediante electrolisis del agua	34
3.6.	Combustibles renovables	36
3.7.	Tecnologías inteligentes para la gestión de la energía	39
3.8.	Principales conclusiones sobre otras tecnologías energéticas limpias	43
4.	Conclusión	46
	ANEXO I: Marco metodológico para la evaluación de la competitividad de la UE.....	49

1. INTRODUCCIÓN

La agresión militar no provocada e injustificada de Rusia contra Ucrania ha perturbado enormemente el sistema energético mundial. Ha puesto de manifiesto la excesiva dependencia de la UE con respecto a los combustibles fósiles rusos y ha puesto de relieve la necesidad de mejorar la resiliencia del sistema energético de la Unión, que ya se había visto amenazado por la crisis de la COVID-19¹. Los máximos históricos alcanzados por los precios de la energía y el riesgo de escasez de suministro en toda la UE han hecho que sea aún más urgente acelerar la doble transición ecológica y digital en el marco del Pacto Verde Europeo² y garantizar un sistema energético más seguro, asequible, resiliente e independiente.

El año 2022 ha estado marcado por el plan REPowerEU³, un elemento crucial de la respuesta política de la UE a la crisis sin precedentes. El plan constituye una hoja de ruta para eliminar gradualmente la dependencia de la UE de las importaciones de energía rusas lo antes posible a través de medidas de ahorro energético, la diversificación de los abastecimientos energéticos y la aceleración del despliegue de las energías renovables.

Asimismo, con la Comunicación «Ahorrar gas para un invierno seguro»⁴, la Comisión ha presentado un plan para reducir el uso de gas en la UE en un 15 % hasta la próxima primavera. El Consejo ha adoptado dos Reglamentos, uno sobre el almacenamiento de gas y otro sobre medidas coordinadas para reducir su demanda⁵. En septiembre de 2022, el Consejo aprobó la propuesta de la Comisión de un «Reglamento relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía»⁶ con el fin de mitigar la repercusión de los precios de la energía en los consumidores de la UE, al tiempo que aborda la volatilidad y la incertidumbre sin precedentes en los mercados energéticos de la UE y del resto del mundo. En particular, esta intervención contempla una reducción del consumo de electricidad, un tope de ingresos para la producción inframarginal de electricidad y una contribución temporal, obligatoria y solidaria de las empresas de combustibles fósiles.

La consecución de los objetivos de REPowerEU requerirá una inversión acumulada adicional de 210 000 millones EUR de aquí a 2027, además de la inversión ya necesaria para alcanzar la neutralidad climática en 2050⁷. Esta inversión respaldará la expansión y aceleración masivas del despliegue de las tecnologías energéticas limpias (p. ej., solar fotovoltaica, eólica, bombas de calor, tecnologías de ahorro energético, biometano e hidrógeno renovable), que reviste vital importancia para hacer frente a la doble urgencia energética y climática. Para

¹ COM(2021) 952 final y SWD(2021) 307 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

² COM(2019) 640 final («El Pacto Verde Europeo»).

³ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

⁴ COM(2022) 360 final («Ahorrar gas para un invierno seguro»).

⁵ DO L 173 de 30.6.2022. Reglamento (UE) 2022/1032 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de junio de 2022, por el que se modifican los Reglamentos (UE) 2017/1938 y (CE) n.º 715/2009 en relación con el almacenamiento de gas; DO L 206 de 8.8.2022. Reglamento (UE) 2022/1369 del Consejo, de 5 de agosto de 2022, sobre medidas coordinadas para la reducción de la demanda de gas.

⁶ COM(2022) 473 final («Propuesta de Reglamento del Consejo relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía»).

⁷ COM(2021) 557 final [«Propuesta por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables»].

superar los retos tecnológicos y no tecnológicos conexos será necesario también disponer de un fuerte y competitivo sector de las energías limpias en la UE.

El plan REPowerEU confirmó el compromiso de alcanzar el objetivo a largo plazo del Pacto Verde Europeo de lograr que la UE sea climáticamente neutra de aquí a 2050, y de aplicar plenamente el paquete de medidas «Objetivo 55» presentado en julio de 2021⁸. La consecución de los objetivos del Pacto Verde Europeo requerirá que la UE desarrolle, aplique y expanda soluciones innovadoras de eficiencia energética y de energías renovables. La mitad de las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero previstas para 2050 exigirán tecnologías que aún no están listas para el mercado⁹, por lo que las actividades de investigación e innovación (I+i) son un componente crucial para aumentar la soberanía tecnológica y la competitividad mundial de la UE.

En este marco, y en consonancia con ediciones anteriores, este tercer informe anual de situación sobre competitividad¹⁰ presenta la situación actual y prevista de las diferentes tecnologías y soluciones de energías limpias y con bajas emisiones de carbono¹¹. También describe los aspectos relacionados con la investigación, la innovación y la competitividad del sistema de energía limpia de la UE en su conjunto¹².

La edición de 2021 fue importante para la evaluación de la recuperación económica tras la COVID-19, ya que puso de relieve la forma en que las mejoras en la competitividad pueden atenuar el impacto económico y social de la pandemia a corto y medio plazo.

El informe de este año debe tener en cuenta el llamamiento de la UE a favor de un mayor despliegue de tecnologías energéticas limpias y el impacto de la crisis energética en el sector. En este contexto, el informe se basa en los datos disponibles para proporcionar información sobre las maneras de reforzar la competitividad de la UE en las cadenas de valor estratégicas de la energía, aumentando al mismo tiempo la penetración de las tecnologías energéticas limpias de la UE. Por otro lado, la rápida evolución geopolítica, energética y climática actual supone que los datos cuantitativos más actualizados no siempre son capaces de reflejar adecuadamente la situación sin precedentes. Así pues, el presente informe se centra en los avances realizados hasta finales de 2021, sobre la base de los datos consolidados disponibles hasta esa fecha. Se han indicado datos más recientes en aquellos casos en que están

⁸ COM(2021) 550 final («Objetivo 55»: cumplimiento del objetivo climático de la UE para 2030 en el camino hacia la neutralidad climática»).

⁹ Dirección General de Investigación e Innovación de la Comisión Europea: *Research and innovation to REPower the EU* [«Investigación e innovación para cambiar el modelo energético de la UE», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/74947>.

¹⁰ Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la situación de la competitividad de las energías limpias [primera edición: COM(2020) 953 final; segunda edición: COM(2021) 952 final, titulado «Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»].

¹¹ Entre ellas: la energía solar fotovoltaica; la energía eólica marina y terrestre; las bombas de calor para aplicaciones de construcción; las baterías; la producción de hidrógeno renovable mediante electrolisis del agua; los combustibles renovables; las tecnologías inteligentes para la gestión de la energía; la energía hidroeléctrica; la energía oceánica; la energía geotérmica; la captura, almacenamiento y utilización de carbono (CAUC); la bioenergía; la energía solar termoeléctrica de concentración, y la energía nuclear.

¹² En este informe, el sistema de energías limpias incluye tres segmentos de mercado:

- 1) las energías renovables, incluidas la fabricación, la instalación y la generación;
- 2) los sistemas de eficiencia y gestión energética que incluyen tecnologías y actividades tales como contadores inteligentes, redes inteligentes, almacenamiento y renovación de edificios; y
- 3) movilidad eléctrica, que incluye componentes como baterías y pilas de combustible esenciales para vehículos eléctricos e infraestructuras de recarga.

disponibles y son fiables. Sin embargo, son escasos, por lo que aún no pueden reflejar plenamente el impacto de la actual crisis energética en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias. En la medida de lo posible, y con el fin de tener en cuenta los recientes retos a los que se enfrenta el sector de las energías limpias y el modo en que se ha visto afectado por ellos, el análisis se basa en las repercusiones ya visibles y en las evaluaciones cualitativas correspondientes a 2022; no obstante, el impacto total solo puede evaluarse en el informe de situación del próximo año.

La competitividad es un concepto complejo y poliédrico que no puede definirse mediante un único indicador¹³. Por consiguiente, el presente informe evalúa la competitividad del sistema de energía limpia de la UE en su conjunto (sección 2) y de las tecnologías y soluciones energéticas limpias específicas (sección 3) analizando un conjunto definido de indicadores (anexo I). A partir de este año, el Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias (CETO, por sus siglas en inglés) de la Comisión llevará a cabo el análisis en profundidad basado en datos contrastados en el que se fundamenta el presente informe¹⁴.

El presente informe se publica de conformidad con el artículo 35, apartado 1, letra m), del Reglamento sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima¹⁵ y acompaña al informe sobre el estado de la Unión de la Energía¹⁶.

2. COMPETITIVIDAD GENERAL DEL SECTOR DE LAS ENERGÍAS LIMPIAS DE LA UE

2.1 Contexto: evolución reciente

2.1.1 Precios y costes de la energía: tendencias recientes

Como se indica en anteriores informes de situación de la competitividad, durante la última década los precios industriales de la electricidad y el gas han sido más elevados en la UE que en la mayoría de los países del G-20 no pertenecientes a la Unión. La invasión rusa no provocada e injustificada de Ucrania ha aumentado los ya de por sí altos precios sin precedentes observados en 2021 en la UE y en muchas otras regiones del mundo. Los precios al por mayor del gas en Europa fueron cinco veces más elevados en el primer trimestre de 2022 que un año antes y en agosto de 2022 alcanzaron un máximo histórico, antes de caer hasta niveles más bajos. Debido a que las centrales eléctricas de gas son a menudo las que determinan el precio en los mercados europeos, esto ha dado lugar a una tendencia similar en los precios al por mayor de la electricidad¹⁷. También han afectado a los costes de fabricación de algunos sectores, en particular, las industrias con gran consumo de energía. El precio de los productos básicos también ha ido en aumento. El quinto informe sobre precios y costes de la energía¹⁸, cuya aprobación está prevista para finales de 2022, proporcionará datos y análisis cuantitativos actualizados.

¹³ Según las conclusiones del Consejo de Competitividad de 28 de julio de 2020.

¹⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

¹⁵ DO L 328 de 21.12.2018. Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima.

¹⁶ COM(2022) 547 final («Estado de la Unión de la Energía 2022»).

¹⁷ Comisión Europea, Dirección General de Energía, Observatorio del Mercado de la Energía: *Quarterly Report on European gas markets* [«Informe trimestral sobre los mercados europeos del gas», documento en inglés], vol. 15.

¹⁸ Anterior edición de 2020: COM(2020) 951 final («Precios y costes de la energía en Europa»).

La UE y los Estados miembros ya han tomado varias medidas desde 2021 para ayudar a mitigar el impacto de los elevados precios de la energía¹⁹. La propuesta de Reglamento relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía, presentada por la Comisión y acordada por el Consejo en septiembre de 2022, incluye herramientas para reducir el uso del gas para producir electricidad en torno a un 4 % durante el invierno, de modo que disminuya la presión sobre los precios, y una propuesta relativa a la recaudación de más de 140 000 millones EUR para que los Estados miembros ayuden a mitigar el impacto de los elevados precios de la energía en los consumidores²⁰.

Aunque el impacto de esta tendencia en la cadena de valor de las tecnologías energéticas limpias sigue siendo desigual, puede indicar una mejora de su competitividad, en particular en comparación con las alternativas no renovables²¹. Por ejemplo, la energía solar fotovoltaica es ya la fuente de generación de electricidad más barata en un número creciente de países. Sin embargo, en la producción de hidrógeno renovable mediante electrolisis del agua, el coste de la electricidad es uno de los principales factores que afectan a la viabilidad económica de los electrolizadores.

El gráfico 1 ofrece más información sobre los costes de las tecnologías energéticas limpias. Proporciona una instantánea de los cálculos de los costes normalizados de la electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés) correspondientes a 2021 en una serie de condiciones representativas²² en toda la UE. Los resultados indican que las flotas tecnológicas con bajos costes variables (incluidos los costes de combustible y los costes de explotación variables) han sido muy competitivas en 2021. Esta conclusión es más sólida en el caso de la generación de electricidad a partir de energía solar y eólica, que tiene un coste normalizado de entre 40 y 60 EUR/MWh. Además, la flota de turbinas de gas de ciclo combinado (TGCC) parece haber sido, de media, más competitiva en 2021 que la producción a partir de carbón. Dicha flota se benefició de expedición preferente durante los tres primeros trimestres de 2021, mientras que el cambio de combustible no adquirió importancia hasta el cuarto trimestre de 2021. Esto permitió unos factores de capacidad significativamente superiores para las TGCC en 2021²³. El aumento de los precios del gas siguió contribuyendo al cambio de gas a carbón durante el primer trimestre de 2022, pese a la subida de los precios del carbono. Sin embargo, los elevados precios del carbón a principios del segundo trimestre de 2022 comenzaron a cerrar la brecha, y los recientes anuncios de algunos Estados miembros con respecto al aumento temporal del uso de centrales de carbón han llevado a esperar que los precios de este combustible sigan aumentando en los próximos meses.

¹⁹ Entre las medidas figuran la Comunicación de la Comisión COM(2021) 660 final («Un conjunto de medidas de actuación y apoyo para hacer frente al aumento de los precios de la energía»), y la Comunicación COM(2022) 138 final («Seguridad del suministro y precios de la energía asequibles»).

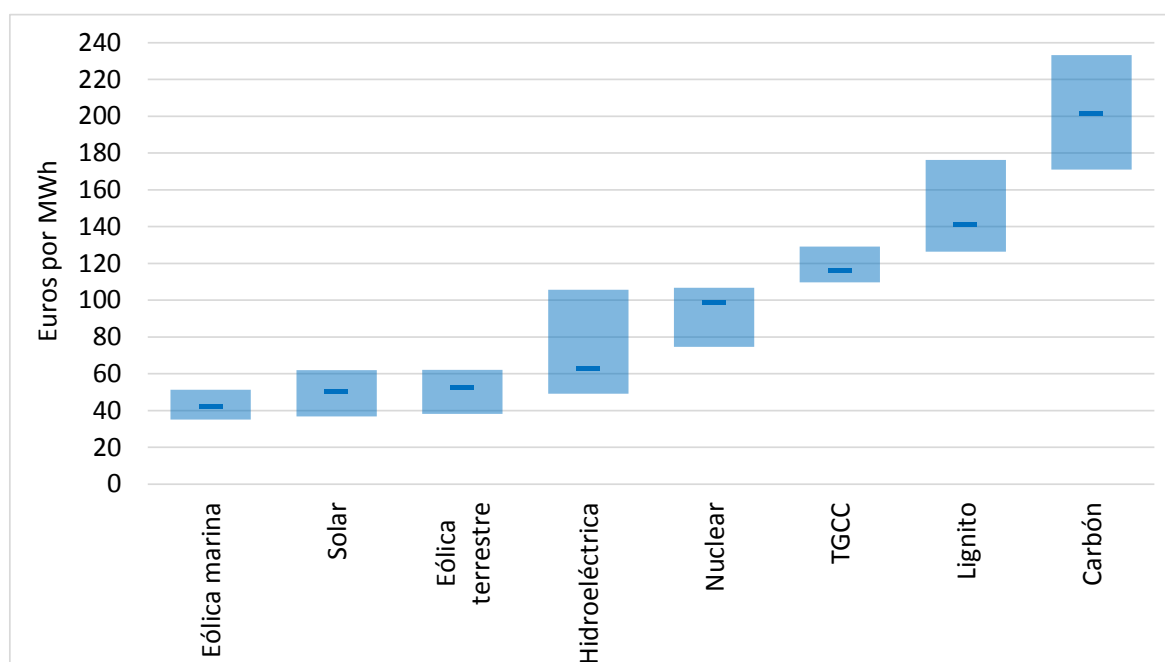
²⁰ COM(2022) 473 final («Propuesta de Reglamento del Consejo relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía»).

²¹ Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA): [Perspectiva mundial de las transiciones energéticas 2022: ruta de 1,5 °C](#), Abu Dabi.

²² Se muestran los puntos de datos correspondientes al intervalo intercuartílico entre el primer y el tercer cuartil para filtrar los valores atípicos.

²³ Los factores de capacidad modelizados podrían sobrestimar en cierta medida el cambio real de combustible y, por tanto, las diferencias en los factores de capacidad (véase la sección 2.1 en Kanellopoulos, K.; De Felice, M.; Busch, S., y Koolen, D.: [Simulating the electricity price hike in 2021](#) [«Simulación del aumento de los precios de la electricidad en 2021», documento en inglés], JRC127862, EUR 30965 EN, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022).

Gráfico 1: Instantánea de los costes normalizados de la electricidad (LCOE) correspondientes al parque tecnológico en 2021. Las barras de color azul claro delimitan una horquilla que abarca toda la EU-27. Las líneas azules gruesas representan la mediana.



Fuente: Simulación de modelos METIS del Centro Común de Investigación, 2022²⁴.

Los elevadísimos precios de la energía han generado grandes beneficios económicos para los productores de electricidad con costes marginales más bajos (p. ej., los que operan en los sectores de la energía eólica y solar). Por consiguiente, la Comisión propuso un Reglamento relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía²⁵, que se acordó políticamente en la sesión extraordinaria del Consejo de Energía del 30 de septiembre. Este Reglamento comprende la limitación y redistribución temporales de los ingresos de las tecnologías inframarginales para aliviar las dificultades de los consumidores de energía y de la sociedad en general. También incluye una contribución solidaria temporal obligatoria aplicable a los beneficios de las empresas de los sectores del petróleo crudo, el gas natural, el carbón y la refinería, que han aumentado significativamente en comparación con años anteriores. La actual crisis de la energía y los combustibles fósiles es el recordatorio más reciente de la necesidad de un cambio de paradigma para garantizar la estabilidad futura.

El plan REPowerEU pide la aceleración y expansión masivas de las energías renovables en la generación de electricidad, la industria, los edificios y el transporte, no solo para acelerar la independencia energética de la UE e impulsar la transición ecológica, sino también para reducir los precios de la electricidad y las importaciones de combustibles fósiles con el paso del tiempo²⁶. Entre las medidas contempladas figura la promoción de las energías renovables,

²⁴ Kanellopoulos, K.; De Felice, M.; Busch, S. y Koolen, D.: *Simulating the electricity price hike in 2021* [«Simulación del aumento de los precios de la electricidad en 2021», documento en inglés], JRC127862, EUR 30965 EN, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022.

²⁵ COM(2022) 473 final («Propuesta de Reglamento del Consejo relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía»).

²⁶ Véase la sección 3, página 7, de la Comunicación COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

que requerirán una infraestructura eléctrica que sea adecuada para su finalidad. Para cumplir los objetivos de REPowerEU, es preciso combinar el despliegue de las energías renovables con medidas de ahorro de energía y de eficiencia energética²⁷.

2.1.1 Cadenas mundiales de suministro de recursos y materiales: vulnerabilidades y perturbaciones

Junto con la preocupación por la fiabilidad de las cadenas de suministro existentes, y en particular el suministro de gas natural, tanto la pandemia de COVID-19 como el contexto geopolítico actual han provocado perturbaciones en algunas cadenas de suministro mundiales de materiales y recursos, de modo que han afectado al sector de las energías limpias. La UE depende en gran medida de los suministros procedentes de terceros países y la doble transición ecológica y digital se verá impulsada por el acceso a las materias primas. Las últimas tendencias en las cadenas de suministro mundiales de materiales y recursos han puesto de relieve la urgencia de reforzar la resiliencia de la UE y la seguridad de su suministro energético mediante la independencia de los materiales y los recursos y la soberanía tecnológica.

La disponibilidad de materiales y la resiliencia de las cadenas de suministro son indispensables para cumplir los objetivos de REPowerEU, ya que el aumento de la demanda de tecnologías limpias va de la mano con una mayor demanda de recursos como metales y minerales. Las tecnologías que dependen en gran medida de materias primas importadas, o de componentes que contienen estas materias primas, incluyen la energía eólica (imanes permanentes, elementos de tierras raras), la energía solar fotovoltaica (plata, germanio, galio, indio, cadmio, silicio metálico) y las baterías (cobalto, litio, grafito, manganeso, níquel)²⁸. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) prevé que la demanda mundial total de minerales se duplique o incluso cuadruple de aquí a 2040 debido al despliegue anunciado de energías renovables²⁹.

El aumento de los precios de las materias primas repercute en los costes de las tecnologías energéticas limpias. Los precios de los productos básicos necesarios para estas tecnologías, como el litio y el cobalto, se duplicaron con creces en 2021, mientras que los del cobre y el aluminio se incrementaron entre un 25 % y un 40 %³⁰. En el mismo año, se invirtió la tendencia a la baja de los costes de los aerogeneradores y los módulos fotovoltaicos solares registrada durante décadas: en comparación con 2020, los precios subieron un 9 % y un 16 %, respectivamente. Los conjuntos de baterías serán, como mínimo, un 15 % más caros en 2022 que en 2021³¹.

²⁷ COM(2022) 360 final («Ahorrar gas para un invierno seguro»).

²⁸ Comisión Europea: *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study* [«Materias primas fundamentales para las tecnologías y sectores estratégicos de la UE: estudio prospectivo», documento en inglés], 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>.

²⁹ AIE: *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* [«El papel de los minerales fundamentales en las transiciones hacia una energía limpia», documento en inglés], versión revisada en mayo de 2022.

³⁰ Kim, T.: *Critical minerals threaten a decades-long trend of cost declines for clean energy technologies* [«Los minerales fundamentales amenazan la tendencia a la baja de los costes de las tecnologías energéticas limpias registrada durante décadas», documento en inglés], sitio web de la AIE, mayo de 2022.

³¹ AIE: *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* [«El papel de los minerales fundamentales en las transiciones hacia una energía limpia», documento en inglés], versión revisada en mayo de 2022.

Un reto incipiente es evitar sustituir la dependencia de los combustibles fósiles por una dependencia de las materias primas importadas y los conocimientos tecnológicos para su transformación y para la fabricación de componentes. Por ejemplo, China ostenta un cuasimonopolio en la extracción y transformación de los elementos de tierras raras fundamentales para las tecnologías energéticas limpias, junto con una sólida posición de mercado en su cadena de producción.

El reto de la dependencia de recursos se divide en tres partes. En primer lugar, la UE se enfrenta a una mayor competencia por el acceso a las materias primas fundamentales a medida que otros países redoblan sus esfuerzos para desarrollar su capacidad y potencialmente restringir sus exportaciones. La mitad de las treinta materias primas fundamentales enumeradas por la UE³² se importan en proporciones superiores al 80 % en volumen, lo que resulta especialmente preocupante cuando la oferta se concentra en un número muy reducido de países.

En segundo lugar, a pesar de los importantes progresos realizados por lo que respecta a la economía circular y las tasas de reciclado (más del 50 % de algunos metales³³ se reciclan, lo que representa más del 25 % de su consumo³⁴), las materias primas secundarias por sí solas no serán suficientes para hacer frente a una demanda elevada y aún creciente. Las materias primas secundarias también plantean retos adicionales (p. ej., los mayores costes de reciclado de algunos materiales, la viabilidad técnica y la insuficiente disponibilidad de conjuntos al final de su vida útil). Sin embargo, la economía del reciclado mejorará conforme vaya aumentando el coste de los materiales de origen primario y el volumen de los conjuntos disponibles al final de su vida útil. Así pues, las materias primas secundarias constituirán una importante fuente de suministro a partir de 2030, siempre que comience a efectuarse ya la inversión necesaria. También es muy importante la innovación en el diseño con vistas al reciclado.

En tercer lugar, existe la posibilidad teórica de satisfacer entre el 5 y el 55 % de las necesidades de Europa en 2030 mediante la extracción de materias primas de los suelos europeos³⁵. Sin embargo, el fomento de las capacidades mineras de la UE se ve obstaculizado por los largos procedimientos de concesión de permisos y las preocupaciones medioambientales, la insuficiente capacidad de refinado y la falta de mano de obra cualificada y de conocimientos especializados. La nueva propuesta de Reglamento relativo a las pilas y baterías³⁶ es un ejemplo de iniciativa emblemática que ayudará a Europa a convertirse en líder de la economía circular de las pilas y baterías, empezando por una minería sostenible y acabando en el reciclado.

³² COM(2020) 474 final («Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad»).

³³ Hierro, zinc o platino.

³⁴ Comisión Europea, Dirección General de Energía: Guevara Opinska, L.; Gérard, F.; Hoogland, O., y otros: *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis: final report* [«Estudio sobre la resiliencia de las cadenas de suministro fundamentales en el ámbito de la seguridad energética y la transición hacia una energía limpia durante la crisis de la COVID-19 y después de ella: informe final», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002>.

³⁵ KU Leuven: *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge* [«Metales para una energía limpia: vías para superar el desafío de las materias primas en Europa», documento en inglés], 2022.

³⁶ COM(2020) 798 final [«Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se deroga la Directiva 2006/66/CE y se modifica el Reglamento (UE) 2019/1020].

La escasez de recursos, como la tierra y el agua, ya sea para el emplazamiento de instalaciones de energía solar, eólica o bioenergía, ya para la electrolisis del agua dirigida a la producción de hidrógeno renovable, podría limitar el despliegue de tecnologías energéticas limpias al nivel deseado en la UE. La facilitación de múltiples usos del espacio, como la agrovoltaica (que combina la producción agrícola y la obtención de energía solar fotovoltaica), y la designación de lugares para realizar actividades simultáneas, como la pesca y la energía renovable en alta mar, en el marco de la ordenación del espacio marítimo pueden ayudar a superar estas limitaciones. Al mismo tiempo, tener en cuenta la disponibilidad de agua reviste suma importancia para los Estados miembros a la hora de configurar la combinación energética.

Un planteamiento eficaz de la dependencia de la UE de las importaciones de las materias primas necesarias para la fabricación de tecnologías energéticas limpias será crucial para garantizar la competitividad futura del sector (en cuanto a costes, soberanía tecnológica y resiliencia) y para lograr la doble transición ecológica y digital. La Comisión publicó en 2020³⁷ un plan de acción para atenuar el riesgo de suministro. Este incluía medidas para diversificar el suministro fuera de la UE (p. ej., a través de asociaciones estratégicas sobre materias primas); fomentar la economía circular (p. ej., mediante el diseño ecológico, la I+i o la cartografía de la disponibilidad de materias primas fundamentales en las minas o residuos mineros urbanos); y aprovechar el potencial interno (p. ej., utilizando la tecnología de observación de la tierra). Además de garantizar el suministro, es posible que la UE también tenga que constituir reservas estratégicas cuando el suministro se vea amenazado. Por consiguiente, la presidenta de la Comisión Europea anunció una Ley Europea de Materias Primas Fundamentales en su discurso sobre el estado de la Unión de 14 de septiembre de 2022.

2.1.2 Impacto de la COVID-19 y recuperación

El impacto económico mixto de la COVID-19 supuso una grave amenaza para el sector de las energías limpias de la UE en 2020-2021.

Por una parte, con un volumen de negocios de 163 000 millones EUR en 2020 y un valor añadido bruto (VAB) de 70 000 millones EUR, la industria de las energías renovables de la UE aumentó un 9 % y un 8 %, respectivamente, en comparación con las cifras de 2019. En términos generales, produjo aproximadamente cuatro veces más valor añadido por euro de volumen de negocios³⁸ que la industria de los combustibles fósiles, y casi un 70 % más que todo el sector manufacturero de la UE en su conjunto³⁹. Sin embargo, esta proporción empeoró ligeramente en 2020, lo que indicaba un aumento de las fugas (p. ej., en forma de importaciones).

³⁷ COM(2020) 474 final («Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad»).

³⁸ El valor añadido bruto de la industria de los combustibles fósiles por euro de volumen de negocios es inferior a 0,10 EUR (según las estadísticas estructurales de las empresas de Eurostat).

³⁹ El coeficiente VAB/volumen de negocios de la industria manufacturera (NACE C) en la UE es de aproximadamente 0,25 EUR (datos sbs_na_ind_r2 de Eurostat).

En 2021, la fabricación⁴⁰ de la mayoría de las tecnologías y soluciones energéticas limpias aumentó en gran medida en la UE, invirtiendo la tendencia observada en 2020. También fue un año excelente para la producción de baterías en la UE, cuyo valor de producción se cuadruplicó en comparación con los valores de 2020 al producirse una mayor capacidad en línea. La producción de bombas de calor, energía eólica y energía solar fotovoltaica creció un 30 % en 2021 (las bombas de calor tuvieron un año récord; la energía eólica repuntó a los niveles anteriores a la pandemia; y la energía solar fotovoltaica invirtió la tendencia a la baja observada desde 2011). La producción de biocombustibles, principalmente biodiésel, ascendió un 40 % y creció ampliamente en todos los Estados miembros, mientras que la producción de bioenergía (p. ej., pellets, residuos de almidón y astillas de madera) aumentó un 5 %. La producción de hidrógeno⁴¹ se incrementó casi un 50 %, ya que los Países Bajos duplicaron con creces su producción en 2021.

No obstante, el aumento simultáneo de los precios que comenzó en 2021 podría dar una imagen demasiado positiva del crecimiento de la producción. Además, en algunas tecnologías hubo que ampliar el volumen de las importaciones para satisfacer la creciente demanda en la UE. Por ejemplo, 2021 fue el año con mayor incremento relativo del déficit comercial de la UE en bombas de calor (390 millones EUR en 2021 frente a 40 millones EUR en 2020, siendo 2020 el primer año en el que el superávit comercial de la UE se convirtió en déficit), seguido de los biocombustibles (2 300 millones EUR en 2021 frente a 1 400 millones EUR en 2020) y la energía solar fotovoltaica (9 200 millones EUR en 2021 frente a 6 100 millones EUR en 2020). Sin embargo, la UE mantuvo una balanza comercial positiva en tecnología eólica (2 600 millones EUR en 2021 frente a 2 000 millones EUR en 2020) y en tecnología hidroeléctrica, a pesar de la tendencia a la baja observada desde 2015 (211 millones EUR en 2021 frente a 232 millones EUR en 2020).

Las políticas de recuperación económica de la UE, como el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (MRR) en el marco de NextGenerationEU⁴², son un motor clave para reorientar y mejorar las inversiones en el sector de las energías limpias. En octubre de 2022, el Consejo acordó su posición⁴³ sobre la propuesta de la Comisión Europea⁴⁴ de añadir un capítulo específico de REPowerEU a los planes de recuperación y resiliencia (PRR) de los Estados miembros al objeto de financiar reformas e inversiones clave que contribuyan a lograr los objetivos de REPowerEU⁴⁵.

Las reformas e inversiones propuestas por los Estados miembros en sus PRR han superado los objetivos de gasto climático y digital hasta la fecha (al menos el 37 % y el 20 % del gasto

⁴⁰ Se refiere al valor de la producción en términos monetarios (EUR).

⁴¹ Incluye todo el hidrógeno, independientemente del proceso productivo.

⁴² COM(2020) 456 final («El momento de Europa: reparar los daños y preparar el futuro para la próxima generación»).

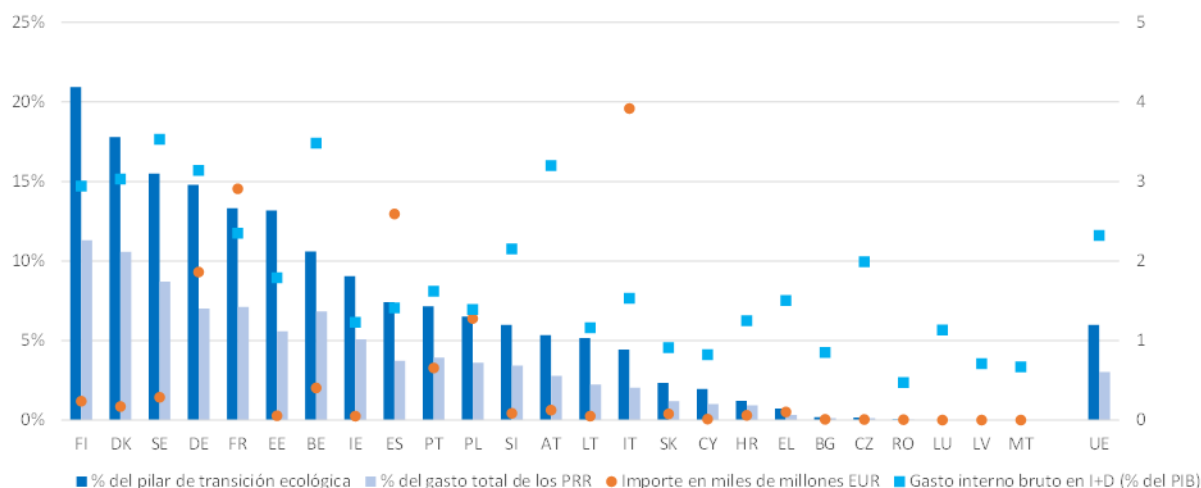
⁴³ <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2022/10/04/repowereu-council-agrees-its-position/>.

⁴⁴ COM(2022) 231 final [«Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se modifica el Reglamento (UE) 2021/241 en lo relativo a los capítulos de REPowerEU en los planes de recuperación y resiliencia y se modifican el Reglamento (UE) 2021/1060, el Reglamento (UE) 2021/2115, la Directiva 2003/87/CE y la Decisión (UE) 2015/1814»].

⁴⁵ La propuesta contempla reasignaciones presupuestarias adicionales de la UE para complementar los 225 000 millones EUR aún disponibles de préstamos del MRR y pide ampliar la dotación de dicho mecanismo. La Comisión Europea ha iniciado debates bilaterales con los Estados miembros para determinar las reformas e inversiones que podrían optar a financiación en el marco de los nuevos capítulos de REPowerEU. La financiación de la UE complementa la financiación pública y privada disponible por otros medios, que contribuirá en gran medida a la materialización de las inversiones necesarias para REPowerEU.

de los PRR, respectivamente)⁴⁶. En los veintiséis⁴⁷ PRR aprobados por la Comisión a 8 de septiembre de 2022 se han destinado medidas por valor de cerca de 200 000 millones EUR a la transición climática y 128 000 millones EUR a la transformación digital⁴⁸, lo que representa, respectivamente, el 40 % y el 26 % de la asignación total de estos Estados miembros (subvenciones y préstamos).

Gráfico 2: I+D+i en actividades ecológicas en los PRR como porcentaje (eje izquierdo) e importe absoluto (eje derecho). A efectos de comparación, también se proporciona la intensidad de I+D frente al PIB (eje derecho).



Fuente: CCI a partir de datos de la Dirección General de Asuntos Económicos y Financieros (DG ECFIN)

Los veinticinco PRR aprobados por el Consejo el 8 de septiembre de 2022 contienen medidas relacionadas con la investigación e innovación por un presupuesto total de 47 000 millones EUR⁴⁹ (incluidas inversiones tanto temáticas como horizontales⁵⁰). Dentro de esta cifra, se han asignado 14 900 millones EUR a inversiones en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en actividades ecológicas (Gráfico 2).

⁴⁶ Los avances en la aplicación de los PRR pueden seguirse en directo en el Recovery and Resilience Scoreboard (cuadro de indicadores de recuperación y resiliencia), una plataforma en línea creada por la Comisión en diciembre de 2021.

⁴⁷ AT, BE, BG, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK.

⁴⁸ Los PRR tenían que especificar y justificar en qué grado cada medida contribuye plenamente (100 %), parcialmente (40 %) o nada en absoluto (0 %) al objetivo climático. La contribución al objetivo climático se ha calculado utilizando el anexo VI del Reglamento del MRR, respectivamente. La combinación de los coeficientes con las estimaciones de costes de cada medida permite calcular en qué grado contribuyen los planes al objetivo climático.

⁴⁹ Las cifras se basan en la metodología de etiquetado por pilares del cuadro de indicadores de recuperación y resiliencia y corresponde a las medidas adscritas a los ámbitos de actuación «I+D+i en actividades ecológicas», «medidas relacionadas con la digitalización en la investigación I+D+i» y la «I+D+i» como ámbitos de actuación primarios o secundarios. El Consejo aún no ha adoptado el PRR de los Países Bajos, por lo que todavía no se dispone de datos en el marco de la metodología de etiquetado por pilares. Para más información sobre el cuadro de indicadores de recuperación y resiliencia, véase: https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/.

⁵⁰ Las inversiones temáticas en I+i comprenden las destinadas a la transición ecológica, las tecnologías digitales y la sanidad, mientras que las inversiones horizontales en I+i implican medidas transversales que, p. ej., refuerzan los ecosistemas de innovación, mejoran las infraestructuras de investigación y apoyan la innovación empresarial. Para más información sobre el cuadro de indicadores de recuperación y resiliencia, véase: https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/.

2.1.3 Capital humano y capacidades

Los últimos datos sobre **capital humano** mundial muestran que, si bien el sector de las energías limpias ha resistido a la pandemia de COVID-19, el déficit de capacidades y la escasez de personal cualificado aumentaron en 2021 y se espera que persistan en 2022.

El empleo en el sector general de las energías limpias de la UE⁵¹ alcanzó los 1,8 millones en 2019, con un crecimiento medio anual del 3 % desde 2015⁵², y representa el 1 % del empleo total de la UE. En comparación, el empleo en el conjunto de la economía creció, de media, un 1 % anual⁵³, mientras que el empleo en el sector de las energías fósiles ha disminuido un 2 % por término medio en la última década⁵⁴. China ocupó en 2020 el primer puesto del mundo en materia de empleo en el sector de las energías renovables (39 %), que en total ascendía a doce millones de puestos de trabajo⁵⁵, seguida de la UE (11 %)⁵⁶.

La composición de los puestos de trabajo en el sector general de las energías limpias de la UE ha sufrido diversas modificaciones⁵⁷. El sector de las bombas de calor⁵⁸ está tomando la delantera a los sectores de los biocombustibles sólidos⁵⁹ y la energía eólica como mayor empleador, debido principalmente al incremento de la instalación de dichos aparatos. Es probable que esta tendencia continúe con el plan REPowerEU y las nuevas ofertas de productos disponibles para el sector de la renovación⁶⁰. Además, el sector de las energías limpias es, de media, un 20 % más productivo que el conjunto de la economía. Desde 2015, la productividad laboral ha aumentado más rápidamente en el sector de las energías limpias (2,5 % anual) que en el conjunto de la economía (1,8 % anual). Este aumento se ha visto impulsado por el sector de la electromovilidad (5 % anual) y las energías renovables (4 % anual), con diferentes tendencias observadas en función de las tecnologías.

⁵¹ Las cifras del informe correspondientes al sector de las energías limpias se refieren a datos basados en las cuentas del sector de bienes y servicios medioambientales (EGSS, por su siglas en inglés) de Eurostat (categorías «CREMA13A», «CREMA13B» y «CEPA1»). «CREMA13A» (producción de energía a partir de recursos renovables) incluye la fabricación de tecnologías necesarias para producir energía renovable. «CREMA13B» (ahorro y gestión de calor y energía) comprende las bombas de calor, los contadores inteligentes, las actividades de renovación energética, los materiales de aislamiento y las partes de redes inteligentes. «CEPA1» (protección del aire ambiente y del clima) incluye los coches eléctricos e híbridos, los autobuses y otros vehículos más limpios y eficientes, así como infraestructuras de recarga esenciales para el funcionamiento de los vehículos eléctricos (esto comprende también componentes como las baterías, las pilas de combustible y los grupos motopropulsores eléctricos que son fundamentales para los vehículos eléctricos).

⁵² Eurostat [env_ac_egss1].

⁵³ Eurostat [lfsi_emp_a].

⁵⁴ Eurostat [sbs_na_ind_r2].

⁵⁵ Esta cifra incluye el empleo directo e indirecto.

⁵⁶ Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y Organización Internacional del Trabajo (OIT): *Renewable Energy and Jobs — Annual Review 2021* [«Energías renovables y empleo: balance anual 2021», documento en inglés], Abu Dabi y Ginebra.

⁵⁷ EurObserv'ER: *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report* [«Estado de las energías renovables en Europa. Edición 2021. Vigésimo informe de EurObserv'ER», documento en inglés], 2022. Esta cifra incluye las bombas de calor.

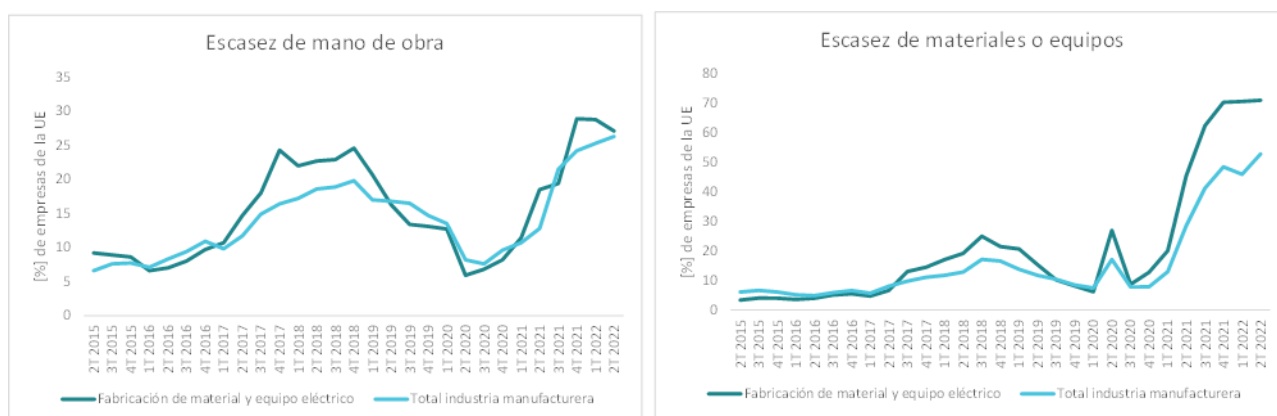
⁵⁸ Las bombas de calor representaron el 24 % de todos los puestos de trabajo en energías renovables, mientras que los biocombustibles sólidos y la energía eólica aportaron cada uno un 20 %. Basado en: EurObserv'ER: *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report* [«Estado de las energías renovables en Europa. Edición 2021. Vigésimo informe de EurObserv'ER», documento en inglés], 2022.

⁵⁹ Las revisiones metodológicas han afectado especialmente a los datos sobre biocombustibles, que se actualizan sobre la base de los datos del proyecto ADVANCEFUEL de Horizonte 2020.

⁶⁰ Asociación Europea de Bombas de Calor (EHPA, por sus siglas en inglés): *European Heat Pump Market and Statistics Report 2021* [«Informe sobre el mercado europeo de las bombas de calor con datos estadísticos», documento en inglés], 2022.

Sin embargo, casi el 30 % de las empresas de la UE dedicadas a la fabricación de material y equipo eléctrico⁶¹ ha sufrido **escasez de mano de obra** en 2022, que ha alcanzado niveles incluso más altos que en 2018. Esto se debe principalmente a la recuperación económica general de la pandemia, combinada con la lentitud del sector de las energías limpias en lo concerniente al desarrollo de las capacidades necesarias para la transición ecológica y digital⁶². Dado que más del 70 % de las empresas de la UE dedicadas a la fabricación de material y equipo eléctrico se han enfrentado asimismo a una escasez de materiales en 2022, estas tendencias apuntan al creciente riesgo de perturbaciones en la cadena de suministro de energías limpias (gráfico 3).

Gráfico 3: Escasez de mano de obra y de materiales experimentada por los fabricantes de equipos eléctricos de la UE y por el sector manufacturero de la UE en su conjunto [%].



Fuente: CCI a partir de los datos de la encuesta de coyuntura industrial de la DG ECFIN⁶³

El plan REPowerEU pide que se redoblen los esfuerzos para superar la escasez de mano de obra cualificada en diversos segmentos de las tecnologías energéticas limpias. A tal fin y partiendo de las actividades ya existentes en la UE⁶⁴, el plan anuncia el apoyo a las capacidades a través de Erasmus+⁶⁵ y la Empresa Común para un Hidrógeno Limpio⁶⁶. La

⁶¹ El código NACE 27 «Fabricación de material y equipo eléctrico» se utiliza como variable sustitutiva de la industria manufacturera de las energías limpias, ya que muchas tecnologías energéticas limpias entran en esta categoría. También se utiliza como variable sustitutiva del ecosistema industrial de las energías renovables en el modelo de industria de la UE [COM(2020) 108 final y su reciente actualización COM(2021) 350 final].

⁶² La lentitud se debe a diversos desajustes en relación con los puestos de trabajo (p. ej., espaciales, sectoriales, profesionales y temporales). El rápido cambio hacia unas tecnologías ecológicas y digitales contrasta con el tiempo requerido para desarrollar las capacidades necesarias. Véanse, por ejemplo:

- Czako, V.: *Skills for the clean energy transition* [«Capacidades para la transición hacia una energía limpia», documento en inglés], 2022 (disponible próximamente);
- Asikainen, T.; Bitat, A.; Bol, E.; Czako, V.; Marmier, A.; Muench, S.; Murauskaite-Bull, I.; Scapolo, F., y Stoermer, E.: *The future of jobs is green* [«El futuro de los empleos es verde», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2021, [doi:10.2760/218792_JRC126047](https://doi.org/10.2760/218792_JRC126047);
- Cedefop (Centro Europeo para el Desarrollo de la Formación Profesional): *Una aliada en la transición verde: La educación y la formación profesionales, especialmente la formación de aprendices, puede proporcionar las competencias necesarias para la ecologización de los empleos y contribuir a su vez a configurarlos*, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2801/712651>.

⁶³ Datos de las encuestas de coyuntura [industry_subsectors_q8_nace2].

⁶⁴ Por ejemplo, la Agenda de Capacidades Europea de 2020, su emblemático Pacto por las Capacidades y sus asociaciones con ecosistemas industriales, así como el Mecanismo para una Transición Justa.

⁶⁵ Erasmus+: <https://www.erasmuskills.eu/eskills/>.

⁶⁶ Empresa Común para un Hidrógeno Limpio: *Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027* [«Agenda estratégica de investigación e innovación 2021-2027», documento en inglés], <https://www.clean->

Estrategia de Energía Solar de la UE también propone medidas específicas⁶⁷. El foro sectorial sobre energía limpia de 2022 adoptó una declaración conjunta sobre las capacidades⁶⁸, por la que se compromete a adoptar medidas concretas para hacer frente a la escasez de mano de obra cualificada que se ha detectado⁶⁹. En 2022 el Consejo también adoptó una Recomendación en la que invitaba a los Estados miembros a adoptar medidas que aborden los aspectos sociales y de empleo de las políticas climática, energética y medioambiental⁷⁰. El 12 de octubre de 2022 la Comisión Europea propuso hacer de 2023 el Año Europeo de las Competencias para lograr que la UE sea una opción más atractiva para los trabajadores cualificados⁷¹.

Persisten los **desequilibrios de género** en la mano de obra del sector energético y en la investigación e innovación relacionadas con la energía, aunque en gran medida faltan datos coherentes y continuos desglosados por género⁷². La infrarrepresentación de las mujeres en la toma de decisiones de las empresas energéticas y en la educación superior en los subcampos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (CTIM) se refleja en una menor proporción de solicitudes de patentes con mujeres inventoras (solo el 20 % en todas las clases de patentes en 2021⁷³ y algo más del 15 % en tecnologías de mitigación del cambio climático⁷⁴), un menor porcentaje de empresas emergentes creadas o cocreadas por mujeres (menos del 15 % en la UE en 2021⁷⁵) y menores cantidades de capital invertido en empresas dirigidas por mujeres (solo el 2 % en empresas emergentes totalmente femeninas y el 9 % en equipos mixtos en la UE en 2021⁷⁶).

La UE está redoblando sus esfuerzos para garantizar un ecosistema equilibrado e igualitario. Entre las iniciativas emprendidas figuran la Estrategia para la Igualdad de Género 2020-2025⁷⁷, la iniciativa «Women TechEU» puesta en marcha en 2022⁷⁸, el nuevo criterio de admisibilidad incluido en Horizonte Europa⁷⁹, y las medidas concretas previstas en la Nueva

hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf.

⁶⁷ COM(2022) 221 final («Estrategia de Energía Solar de la UE»).

⁶⁸ *Joint Declaration on Skills in the Clean Energy Sector* [«Declaración conjunta sobre las capacidades en el sector de las energías limpias», documento en inglés], publicada el 16 de junio de 2022. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-industrial-forum-underlines-importance-deploying-renewables-2022-jun-16_en.

⁶⁹ Por ejemplo, se calcula que ochocientos mil trabajadores tendrán que recibir formación para trabajar en la cadena de valor de las baterías con vistas a cumplir los objetivos de REPowerEU. Unos cuatrocientos mil trabajadores tendrán que recibir formación y mejorar sus capacidades en la cadena de valor de las bombas de calor, sin incluir a los expertos que trabajan actualmente en el sector y que se jubilarán en los próximos años (véase la nota a pie de página n.º 69).

⁷⁰ 2022/C 243/04 («Recomendación del Consejo para garantizar una transición justa hacia la neutralidad climática»).

⁷¹ COM(2022) 526 final.

⁷² COM(2020) 953 final («Informe sobre la situación de la competitividad de las energías limpias»), COM(2021) 952 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

⁷³ Para las invenciones que cuentan, como mínimo, con un inventor establecido en Europa. Cifras basadas en la Oficina Europea de Patentes 2022.

⁷⁴ Agencia Internacional de la Energía: <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>.

⁷⁵ Agencia Ejecutiva para el Consejo Europeo de Innovación y las Pymes (Eisma), 2022.

⁷⁶ IDC: *European Women in Venture Capital* [«Las mujeres europeas en el sector del capital riesgo», documento en inglés], informe encargado por la comunidad European Women in VC, 2022.

⁷⁷ Comisión Europea: Estrategia para la igualdad de género.

⁷⁸ Agencia Ejecutiva para el Consejo Europeo de Innovación y las Pymes (Eisma), 2022, https://eisma.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu_en.

⁷⁹ Horizonte Europa cuenta con un nuevo criterio de admisibilidad conforme al cual los organismos de investigación que soliciten financiación deben disponer de un plan de igualdad de género viable y de un objetivo de equilibrio de género del 50 % en todos los órganos responsables de las decisiones y las evaluaciones relativas a Horizonte Europa. Más

Agenda Europea de Innovación de 2022⁸⁰. Colmar la brecha de género no solo ayudará a afrontar los desafíos en materia de empleo y capacidades de la UE con vistas a lograr la doble transición ecológica y digital, sino que también contribuirá a la inclusión de las mujeres en estos ámbitos de trabajo, abordando de este modo los retos sociales.

2.2 Tendencias en materia de investigación e innovación

La creciente inestabilidad medioambiental, geopolítica, económica y social en el mundo exige una política ágil de la UE en materia de I+i que pueda responder eficazmente ante una situación de crisis y, al mismo tiempo, garantizar la aplicación del Pacto Verde Europeo.

La política de la UE en materia de I+i configura la dirección de la innovación y la cartera de tecnologías energéticas limpias. El mayor programa de I+i del mundo, Horizonte Europa (con un presupuesto de 95 500 millones EUR destinado a I+i en 2021-2027), y otros programas de financiación de la UE (como el Fondo de Innovación y la financiación de la política de cohesión) tienen por objeto reforzar el ecosistema de la UE en materia de I+i y contribuir a la consecución de los objetivos políticos de la Unión⁸¹. Junto con los esfuerzos conjuntos y coordinados de todos los Estados miembros (en particular a través del Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética, o Plan EETE)⁸², las actividades de I+i aumentan la resiliencia del sector de las energías limpias de la UE.

La mayoría de los Estados miembros de la UE intensificaron sus inversiones públicas en I+i con respecto a las prioridades de la Unión de la Energía de la UE en 2020^{83,84}, con más de 4 000 millones EUR notificados hasta la fecha. Se espera que las cifras totales definitivas correspondientes a 2020 sean comparables a los valores anteriores a la crisis financiera en términos absolutos. No obstante, si se mide como proporción del producto interior bruto (PIB), la inversión en I+i pública a escala nacional y de la UE se mantiene por debajo de los niveles de 2014 (gráfico 4).

información disponible en: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe.

⁸⁰ COM(2022) 332 final («Nueva Agenda Europea de Innovación»).

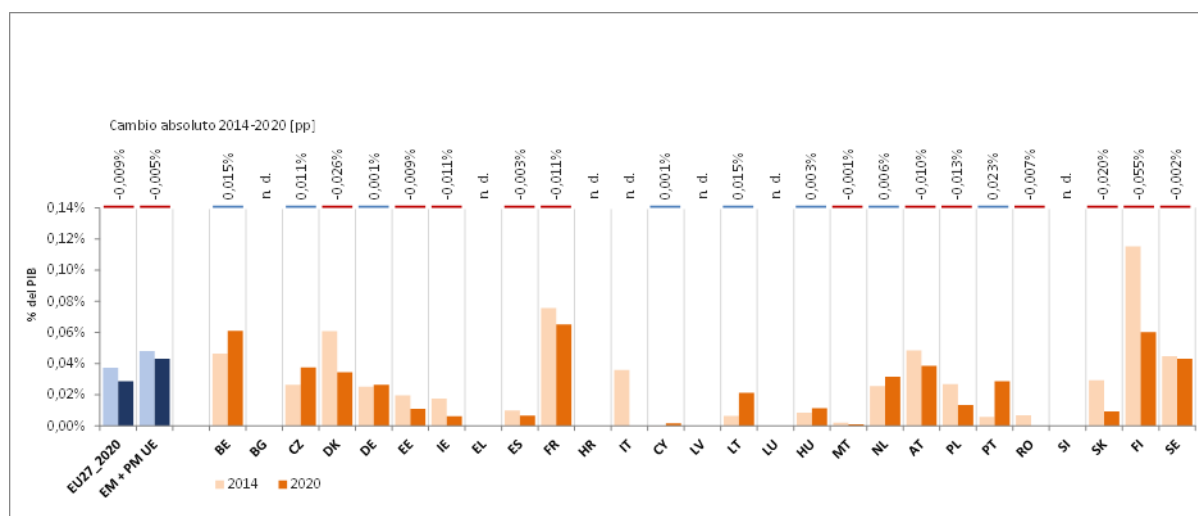
⁸¹ Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación: *Science, Research and Innovation Performance of the EU report 2022* [«Informe de 2022 sobre los resultados de la UE en materia de ciencia, investigación e innovación», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2022.

⁸² El Plan EETE es el principal instrumento de la UE para armonizar las políticas y la financiación en el ámbito de la I+i en tecnologías energéticas limpias a escala nacional y de la UE, y para impulsar las inversiones privadas. Para más información: https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en.

⁸³ Energías renovables, sistema inteligente, sistemas eficientes, transporte sostenible, CAUC y seguridad nuclear; COM(2015) 80 final («Paquete sobre la Unión de la Energía»).

⁸⁴ SETIS (sistema estratégico de información sobre tecnologías energéticas, por sus siglas en inglés) del CCI, https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

Gráfico 4: Inversiones públicas en I+i sobre energías limpias en los Estados miembros de la UE como porcentaje del PIB desde el comienzo de Horizonte 2020⁸⁵



Fuente: CCI basado en la AIE⁸⁶ y en su propio trabajo⁸⁷.

En 2020, los fondos de Horizonte 2020 en apoyo a las prioridades de I+i de la Unión de la Energía sumaron 2 000 millones EUR a las contribuciones de los programas nacionales de los Estados miembros. Aunque las contribuciones nacionales por sí solas siguen siendo bajas entre las principales economías, con la inclusión de los fondos de Horizonte 2020, la UE alcanzó el segundo puesto en materia de inversión pública en I+i sobre energías limpias en 2020 (Gráfico 5)⁸⁸, tanto en gasto absoluto (6 600 millones EUR, por detrás de los Estados Unidos, con 8 000 millones EUR) como en porcentaje del PIB (0,046 %, por detrás de Japón, que registró un 0,058 %, pero justo por delante de los Estados Unidos y Corea del Sur⁸⁹).

Según evaluaciones mundiales, el sector empresarial invierte, al menos, tres veces más de media en I+i sobre energías limpias que el sector público⁹⁰. La inversión del sector empresarial de la UE representa el 80 % del gasto en I+i destinado a las prioridades de I+i de la Unión de la Energía. En 2019, la inversión privada en I+i estimada en la UE ascendió al 0,17 % del PIB (Gráfico 5) y al 11 % del gasto total en I+D del sector empresarial. De las estimaciones correspondientes a la UE se desprende que la inversión en términos absolutos (entre 18 000 y 22 000 millones EUR anuales) ha sido comparable a la de los Estados Unidos y Japón desde 2014. Sin embargo, en términos de porcentaje del PIB, a pesar de que la inversión de la UE supera a la estadounidense, sigue siendo inferior a la de otras grandes economías competidoras (Japón, Corea del Sur y China).

⁸⁵ «PM UE» significa «programa marco de la UE», y «n. d.» («no disponible») se refiere a los países que no facilitaron datos.

⁸⁶ Adaptado a partir de la edición de 2022 de la base de datos de presupuestos de I+D+i en tecnologías energéticas de la AIE.

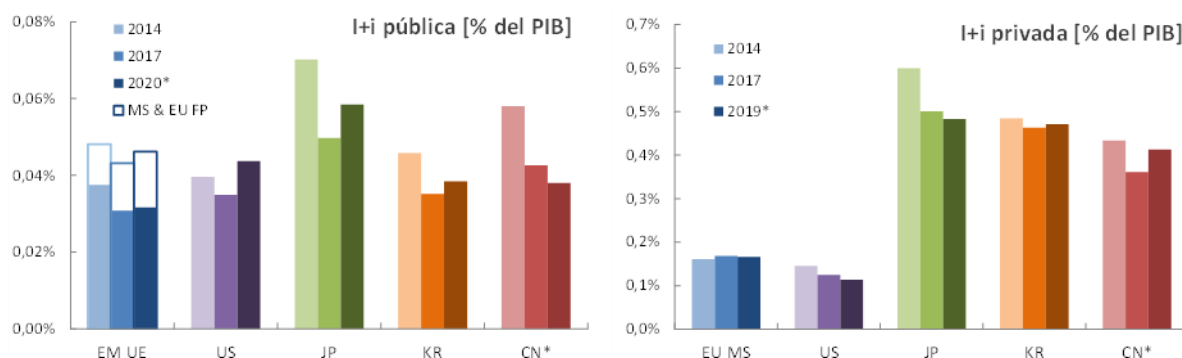
⁸⁷ SETIS del CCI, https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

⁸⁸ Este gráfico solapa las dos primeras categorías del gráfico 4, correspondientes a la UE. Los valores de sendos gráficos varían ligeramente, ya que los datos del Gráfico 5 relativos a Italia corresponden a una estimación.

⁸⁹ Estas cifras incluyen los fondos de los Estados miembros y del programa marco de la UE. El informe del año pasado solo aludía a los fondos de los Estados miembros, que también se muestran en el gráfico 5 y se mantienen por debajo de los fondos de otras grandes economías como porcentaje del PIB.

⁹⁰ AIE: *Tracking clean energy innovation - A framework for using indicators to inform policy* [«Seguimiento de la innovación en energías limpias: marco para utilizar indicadores como base en la formulación de las políticas», documento en inglés], 2020.

Gráfico 5: Financiación pública y privada de I+i destinada a las prioridades de I+i de la Unión de la Energía en las principales economías como porcentaje del PIB



* Los datos de I+i pública relativos a China e Italia (en el total de la UE) corresponden a 2019; los datos de I+i privada correspondientes a 2019 son provisionales.

Fuente: CCI basado en la AIE⁹¹, MI⁹² y en su propio trabajo.

Desde 2014, la mitad de los Estados miembros de la UE han aumentado su **actividad en materia de patentes** en consonancia con las prioridades de I+i de la Unión de la Energía, y los líderes de la innovación ecológica, como Alemania y Dinamarca, han obtenido buenos resultados tanto en cifras absolutas como en la proporción de patentes ecológicas en su cartera global de innovación. La UE siguió siendo el principal solicitante de patentes del mundo en los ámbitos de clima y medio ambiente (23 %), energía (22 %) y transporte (28 %).

En 2020 disminuyó ligeramente el número mundial de **publicaciones científicas** sobre tecnologías energéticas con bajas emisiones de carbono con respecto a 2016-2019. En la UE, esta cifra aumentó de forma más moderada en 2016-2019 (en comparación con la media mundial), y registró una caída más acusada en 2020. La UE aportó poco más del 16 % de los artículos científicos del planeta, pero siguió produciendo más del doble del número medio mundial de publicaciones por habitante⁹³.

Esta tendencia se debe principalmente al creciente número de publicaciones científicas en otros ámbitos y al hecho de que los países de renta alta ya no parecen dominar en temas relacionados con las energías limpias y la innovación⁹⁴. La UE lideraba la investigación en el ámbito de la energía hace diez años, pero la enorme mejora de la cantidad y calidad de los resultados de la investigación china en dicho ámbito ha relegado a la UE a la segunda posición. Los investigadores chinos están a la cabeza en cuanto a las publicaciones más citadas en materia de energía (con una cuota del 39 %)⁹⁵. No obstante, los científicos de la

⁹¹ Adaptado a partir de la edición de 2022 de la base de datos de presupuestos de I+D+i en tecnologías energéticas de la AIE.

⁹² Mission Innovation (MI): *Country Highlights* [«Resumen por países», documento en inglés], VI Reunión Ministerial de MI 2021, http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI_2021v0527.pdf.

⁹³ Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación: Provençal, S.; Khayat, P., y Campbell, D.: *Publications as a measure of innovation performance in the clean energy sector: assessment of bibliometric indicators* [«Las publicaciones como medida de los resultados en materia de innovación en el sector de las energías limpias: evaluación de los indicadores bibliométricos», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022.

⁹⁴ Schneegans S.; Straza, T., y Lewis, J. (editores): *Informe de la UNESCO sobre la ciencia: La carrera contra el reloj para un desarrollo más inteligente*, Unesco Publishing, París, 2021.

⁹⁵ Comisión Europea, Dirección General de Investigación e Innovación: *Science, Research and Innovation Performance of the EU report 2022* [«Informe de 2022 sobre los resultados de la UE en materia de ciencia, investigación e innovación», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2022.

UE colaboran y publican trabajos a escala internacional sobre temas relacionados con las energías limpias en una medida muy superior a la media mundial, y el nivel de colaboración entre los sectores público y privado también es mayor en la UE. El programa marco de I+i de Horizonte 2020, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional y el Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico se situaron entre los veinte principales regímenes de financiación reconocidos a escala mundial en apoyo a la ciencia de las energías limpias en el período 2016-2020⁹⁶.

En la última edición del informe⁹⁷ se destacó la necesidad de mejorar el seguimiento de la actividad pública y privada de I+i en el ámbito de las energías limpias y la evaluación cuantitativa de la competitividad, y desde entonces se ha vuelto aún más crucial. La revisión del Plan EETE y la actualización prevista de los planes nacionales de energía y clima (PNEC)⁹⁸, prevista para junio de 2024⁹⁹, están generando conjuntamente un impulso para reforzar el diálogo sobre la I+i en energías limpias y la competitividad entre la UE y sus Estados miembros.

2.3 Panorama competitivo mundial en el ámbito de las energías limpias

El compromiso urgente de acelerar la transición energética en todo el mundo ha dado lugar al desarrollo de múltiples soluciones energéticas limpias, que abarcan desde tecnologías especializadas hasta la industria mundial y las cadenas de valor internacionales. Se calcula que el valor de los mercados mundiales será de 24 billones EUR para las energías renovables y de 33 billones EUR para la eficiencia energética en 2050¹⁰⁰.

El liderazgo de la UE en ciencia, su sólida base industrial y sus ambiciosas condiciones marco en materia de energías limpias proporcionan una buena base tecnológica para el desarrollo anticipado del mercado de diversas tecnologías energéticas limpias. La UE ha mantenido su buena posición en materia de **patentes protegidas a escala internacional** desde 2014, confirmando así la tendencia destacada en el informe del año pasado¹⁰¹. La UE sigue siendo la segunda, solo por detrás de Japón, en invenciones de alto valor¹⁰², encabeza las energías renovables y comparte liderazgo con Japón en eficiencia energética, en particular gracias a su especialización en materiales y tecnologías para edificios. Los datos sobre patentes de la UE ponen también de manifiesto su liderazgo en combustibles renovables; baterías y electromovilidad, y tecnologías de captura, almacenamiento y utilización de carbono.

⁹⁶ Elsevier: *Pathways to Net Zero: The Impact of Clean Energy Research* [«Vías hacia la neutralidad climática: el impacto de la investigación sobre energías limpias», documento en inglés], 2021. Disponible en: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf. Las publicaciones se consideran como investigación de energía cero si mejoran los conocimientos sobre investigación e innovación en energías limpias y allanan el camino hacia un futuro de cero emisiones netas. Los datos proceden de la base de datos Scopus.

⁹⁷ COM(2021) 952 final y SWD(2021) 307 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

⁹⁸ Para más información sobre los PNEC, véase: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en.

⁹⁹ DO L 328 de 21.12.2018. El Reglamento (UE) 2018/1999 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima establece la revisión periódica de los PNEC para adaptarlos a los últimos avances políticos. Los proyectos de PNEC están previstos para junio de 2023.

¹⁰⁰ IRENA: *Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050*, Abu Dabi, 2019.

¹⁰¹ COM(2021) 952 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

¹⁰² Las familias de patentes de alto valor (invenciones) son aquellas que contienen solicitudes ante más de una oficina (esto es, las que solicitan protección en más de un país o mercado).

Se espera que la mayoría de las nuevas inversiones en tecnologías energéticas limpias se realicen fuera de la UE y que las materias primas necesarias se comercialicen a escala internacional¹⁰³, por lo que resulta fundamental que la UE afiance su presencia y rendimiento en las cadenas de valor mundiales y su acceso a los mercados de terceros países. No obstante, el aumento de las medidas adoptadas por los Gobiernos de terceros países (introducción de obstáculos de acceso al mercado, prescripciones en materia de contenido nacional y otras medidas o prácticas discriminatorias) puede distorsionar **el comercio internacional y la dinámica de la inversión**. Estas medidas pueden tener una repercusión negativa en el empleo, el crecimiento y la base imponible de la UE, y reducir los beneficios que la UE obtendría normalmente por ser pionera en este ámbito. También plantean un claro riesgo de «contaminación», ya que pueden inducir a otros terceros países a adoptar medidas similares que den lugar a ineficiencias en las cadenas de suministro internacionales y afecten a largo plazo a los incentivos para invertir en el sector. Esto, a su vez, incrementaría los costes de la transición en su conjunto y podría mermar el compromiso permanente del público en general con la descarbonización mundial.

Asimismo, persiste y va en aumento la preocupación mundial por el impacto del dominio de las tecnologías respaldadas por el Estado o subvencionadas; los mercados cerrados; las diferentes normas de protección de la propiedad intelectual e industrial, y las políticas de innovación y competitividad en el sector, sobre todo por parte de China, así como de otros terceros países. La actual crisis geopolítica también ha afectado a la competencia en el mercado mundial de las energías limpias, y quedan por ver los efectos negativos que las nuevas medidas nacionales para acelerar el despliegue interno de tecnologías energéticas limpias (como la ley estadounidense de reducción de la inflación¹⁰⁴) podrían tener en el panorama competitivo mundial de las energías limpias.

En este marco, la **cooperación internacional en I+i** no solo acelerará aún más la transición hacia una energía limpia, sino que también contrarrestará las perturbaciones del mercado mundial de la energía. Los programas y políticas de la UE, como Horizonte Europa y Erasmus+, han apoyado sistemáticamente la cooperación en materia de I+i con socios mundiales de confianza. La Comunicación sobre el enfoque global para la investigación y la innovación¹⁰⁵ proporciona un marco mejorado para desarrollar la cooperación internacional. La Comunicación de la Comisión titulada «Compromiso energético de la UE en un mundo cambiante»¹⁰⁶ prevé la intensificación de dicha cooperación y el desarrollo de asociaciones para apoyar la transición ecológica en temas cruciales como el hidrógeno renovable y con bajas emisiones de carbono, o el acceso a las materias primas y la innovación. Además, la Comunicación de la Comisión «Un nuevo EEI para la investigación y la innovación»¹⁰⁷ pide que se actualicen y desarrollen los principios rectores para la valorización del conocimiento. En este sentido, se espera un código de prácticas para el uso inteligente de la propiedad

¹⁰³ Agencia Internacional de la Energía: *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector* [«Cero emisiones netas para 2050: una hoja de ruta para el sector energético mundial»], 2021.

¹⁰⁴ [FACT SHEET: The Inflation Reduction Act Supports Workers and Families | The White House](#) [«Hoja informativa: La Ley para la Reducción de la Inflación ayuda a los trabajadores y las familias», artículo en inglés publicado en el sitio web de la Casa Blanca].

¹⁰⁵ COM(2021) 252 final («La estrategia de Europa para la cooperación internacional en un mundo cambiante»).

¹⁰⁶ JOIN(2022) 23 final («Compromiso energético de la UE en un mundo cambiante»).

¹⁰⁷ COM(2020) 628 final («Un nuevo EEI para la investigación y la innovación»).

intelectual e industrial para finales de 2022¹⁰⁸. La Comisión ayuda a impulsar la cooperación internacional en materia de innovación y tecnología energéticas mediante su participación continuada en la iniciativa Mission Innovation¹⁰⁹ y en el Foro Ministerial sobre Energías Limpias. Por otra parte, la nueva estrategia de conectividad global de la UE, la Pasarela Mundial¹¹⁰, la Comunicación de la Comisión «Revisión de la política comercial»¹¹¹ y la Asociación para una Transición Energética Justa con Sudáfrica¹¹² subrayan la importancia de profundizar en la cooperación internacional y las relaciones comerciales, diversificar las relaciones comerciales con el fin de aprovechar la competitividad de las tecnologías energéticas limpias en sinergia con la apertura y el atractivo del mercado único de la UE.

La cooperación internacional en materia de investigación, la transferencia de tecnología, la política comercial y la diplomacia energética tendrán que colaborar entre sí para garantizar la ausencia de distorsiones tanto en el comercio de las tecnologías, los servicios y las materias primas que se necesitan para la transición dentro y fuera de la UE, como en las inversiones conexas. La UE también tendrá que aprovechar en mayor medida su potencial para mejorar la innovación con el fin de evitar el riesgo de aumentar su dependencia de otras grandes economías para importar las tecnologías necesarias en la transición energética y en la nueva arquitectura del sistema energético.

2.4 Panorama de la financiación de la innovación en la UE¹¹³

Las **soluciones de tecnología climática**¹¹⁴ fomentan la competitividad y la soberanía tecnológica de la UE. Junto con la adopción de tecnologías de generación más maduras, desempeñarán un papel decisivo en la consecución de la neutralidad en carbono de aquí a 2050¹¹⁵.

¹⁰⁸ Ya se dispone de una nueva guía sobre la valorización de los resultados de Horizonte Europa en: <https://data.europa.eu/doi/10.2826/437645>.

¹⁰⁹ <http://mission-innovation.net/>. Tras cinco primeros años de éxito, se puso en marcha la iniciativa MI 2.0 con un nuevo conjunto de «misiones».

¹¹⁰ JOIN(2021) 30 final («La Pasarela Mundial»), Comunicación conjunta de la Comisión Europea y del Alto Representante de la Unión para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones.

¹¹¹ COM(2021) 66 final («Revisión de la política comercial - Una política comercial abierta, sostenible y firme»).

¹¹² Asociación para una Transición Energética Justa con Sudáfrica (europa.eu).

¹¹³ El análisis expuesto en la presente sección se basa en los datos de PitchBook. En la actualidad, PitchBook identifica a más de 2 750 empresas de capital riesgo en el sector vertical de la tecnología climática (frente a las más de 2 250 que recogía en el momento de la publicación de la edición de 2021 del informe sobre la situación de la competitividad). Por lo tanto, las cifras relativas a la inversión histórica de capital riesgo que figuran en los informes de 2020 y 2021 sobre la situación de la competitividad no son directamente comparables.

¹¹⁴ El sector vertical de la tecnología climática de PitchBook es una selección de 2 760 empresas que desarrollan tecnologías concebidas para ayudar a mitigar los efectos del cambio climático o a adaptarse a ellos. La mayoría de las empresas de este sector vertical se centran en frenar el aumento de las emisiones mediante tecnologías y procesos de descarbonización. Entre las aplicaciones de este sector vertical de la industria figuran la producción de energías renovables; el almacenamiento de energía de larga duración; la electrificación del transporte; las innovaciones agrícolas; la mejora de los procesos industriales, y las tecnologías mineras.

¹¹⁵ La presente sección se ha elaborado en estrecha colaboración con el Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias de la Comisión Europea: Georgakaki, A. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: Análisis estratégico general de las tecnologías energéticas limpias en la Unión Europea: informe de situación de 2022», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC131001.

El ámbito de la tecnología climática de la UE ha atraído en los últimos seis años una cantidad cada vez mayor de inversión de capital riesgo¹¹⁶ que está a la vanguardia de la innovación. La tecnología climática puede requerir largos plazos para alcanzar la madurez, por lo que existe la necesidad crucial de disponer de una cantidad significativa de capital a lo largo del ciclo de vida de la financiación de las empresas emergentes; inversiones en I+i¹¹⁷; medidas gubernamentales para reducir el riesgo del desarrollo de soluciones de tecnología climática; y un mayor fomento de la participación del sector privado.

La inversión mundial de capital riesgo en el **ámbito del clima** ha mostrado una resiliencia impresionante ante la pandemia, con niveles de inversión ya más elevados en 2020 (20 200 millones EUR) y nuevos máximos históricos en 2021 (40 500 millones EUR, un incremento del 100 % con respecto a 2020¹¹⁸). Dentro de esta cifra, las empresas de tecnología climática emergentes y en expansión con sede en la UE atrajeron 6 200 millones EUR de inversión de capital riesgo en 2021, más del doble del nivel de 2020¹¹⁹, lo que representa el 15,4 % de la inversión de capital riesgo en tecnología climática a escala mundial. 2021 fue también el primer año en que las inversiones en fases posteriores de tecnología climática con sede en la UE fueron más elevadas que en China¹²⁰. Sin embargo, ese mismo año las inversiones en fases iniciales alcanzaron nuevos máximos en los Estados Unidos y China, pero despuntaron en la UE (gráfico 6).

¹¹⁶ Las operaciones de capital riesgo se definen como las operaciones en fases iniciales (entre ellas, las fases de prelanzamiento, aceleración/incubación, inversión providencial, lanzamiento, y series A y B, que tienen lugar dentro de los cinco años siguientes a la fecha de constitución de la empresa) y las operaciones en fases posteriores (normalmente las rondas de serie B a serie Z+ o aquellas que tengan lugar más de cinco años después de la fecha de constitución de la empresa, las series no divulgadas y el crecimiento o ampliación del capital inversión).

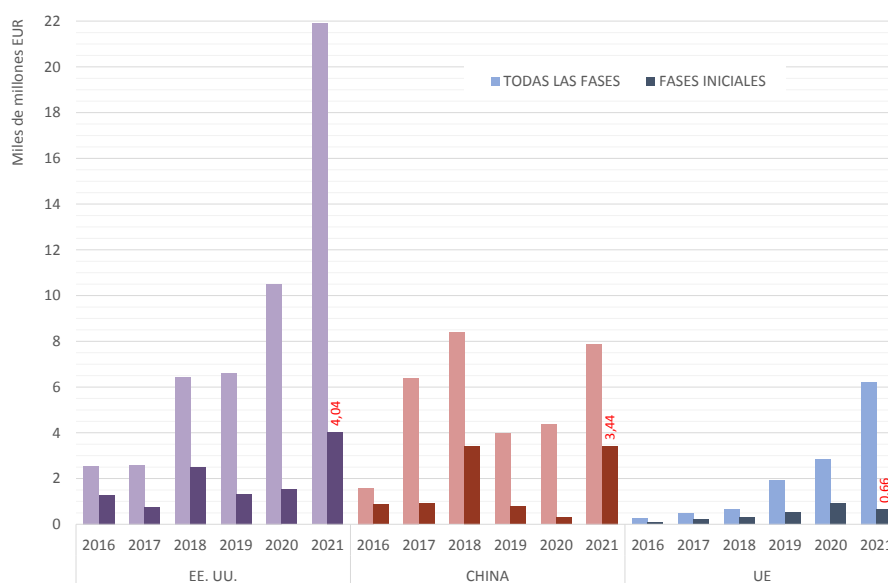
¹¹⁷ Estas dan lugar al concepto de empresas emergentes «profundamente verdes» (es decir, empresas emergentes que utilizan tecnologías punteras para afrontar retos medioambientales, como la fabricación de baterías ecológicas y las aeronaves eléctricas). Las empresas «profundamente verdes» se sitúan entre la tecnología climática y la tecnología profunda (que consiste en la aplicación de descubrimientos científicos en los ámbitos de la ingeniería, las matemáticas, la física y la medicina, y se caracteriza por largos ciclos de I+D y modelos de negocio no probados).

¹¹⁸ Esto representa el 5,2 % de la financiación total de capital riesgo en 2021, según la elaboración del CCI basada en datos de PitchBook (4,6 % en 2020).

¹¹⁹ COM(2021) 952 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

¹²⁰ Las meras inversiones en la empresa sueca Northvolt, dedicada al desarrollo de baterías de vehículos eléctricos, tienen un impacto significativo en las tendencias globales de inversión de capital riesgo observadas en las empresas de tecnología climática de la UE en los últimos años. A medida que la empresa transitó hacia fases de inversión posteriores, las inversiones iniciales en empresas de tecnología climática de la UE disminuyeron en 2021, mientras que las inversiones en fases posteriores aumentaron hasta alcanzar por primera vez un valor superior al declarado en China.

Gráfico 6: Inversiones de capital riesgo en empresas de tecnología climática emergentes y en expansión



Fuente: Elaborado por el CCI a partir de datos de PitchBook.

El **ámbito de la energía** representó el 22 % de las inversiones mundiales de capital riesgo en tecnología climática en 2021 (la generación de energía limpia¹²¹ y las tecnologías de red¹²² ascendieron al 13,2 % y 8,7 %, respectivamente). Con niveles casi cuatro veces superiores (x 3,8) a los registrados en 2020¹²³, el ámbito de la energía sigue quedando por detrás del ámbito de la movilidad y el transporte (46 %), pero por primera vez ha superado el ámbito de la alimentación y el uso del suelo (19,6 %).

En la UE, las inversiones de capital riesgo en empresas energéticas confirmaron el crecimiento constante registrado en los últimos cuatro años (un aumento del 60 % con respecto a 2020). A pesar de estos buenos resultados, la proporción relativa de las inversiones de capital riesgo de la UE en energía se redujo a la mitad en 2021. Con el 10 % de la inversión de capital riesgo en empresas energéticas, la UE ocupa el tercer lugar del mundo, muy por detrás de los Estados Unidos (62 %) y China (13,3 %), que presentaron niveles de inversión sobresalientes en 2021 impulsados por megaacuerdos en materia de generación de energía limpia.

Pese a la dinámica positiva de la financiación de capital riesgo en la UE y de la atracción que la tecnología climática con sede en la UE despierta en los inversores de capital riesgo, los

¹²¹ Incluidas la energía solar, la energía eólica, la energía nuclear, la valoración energética, la energía oceánica e hidráulica y la energía geotérmica.

¹²² Incluidos el almacenamiento de energía de larga duración, la gestión de red, los análisis, la tecnología de baterías, las redes inteligentes y la producción de hidrógeno limpio.

¹²³ Las inversiones en tecnologías de generación de energía limpia son el principal motor de este crecimiento. Impulsadas por importantes inversiones en fusión nuclear en los Estados Unidos y energía eólica en China, han aumentado 2,4 veces más rápido que la inversión en tecnologías de red y las inversiones de capital riesgo en tecnología climática en general.

obstáculos estructurales y los retos sociales¹²⁴ siguen frenando a las empresas emergentes de tecnología climática con sede en la UE en comparación con otras grandes economías. No obstante, la taxonomía de la UE para las actividades sostenibles proporciona un marco para facilitar la inversión duradera y define las actividades económicas sostenibles desde el punto de vista ambiental. Además, la política de innovación de la UE se ha ampliado a lo largo de los años, y el panorama institucional ha cambiado con ella¹²⁵.

El tercer pilar de Horizonte Europa sobre una «Europa innovadora» ha proporcionado herramientas para apoyar a las empresas emergentes, las empresas emergentes en expansión y las pequeñas y medianas empresas (pymes). En este contexto, el Consejo Europeo de Innovación (CEI) es, con su presupuesto de 10 100 millones EUR entre 2021 y 2027, el programa emblemático de innovación de la UE para identificar, desarrollar y ampliar las tecnologías de vanguardia y las innovaciones revolucionarias. Horizonte Europa también apoya la iniciativa de Ecosistemas Europeos de Innovación y el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT). EIT InnoEnergy ha construido el mayor ecosistema de innovación energética sostenible del mundo y también encabeza la transición hacia una UE descarbonizada de aquí a 2050 a través del liderazgo de tres cadenas de valor industriales (la Alianza Europea de Baterías, el Centro Europeo de Aceleración del Hidrógeno Verde y la Iniciativa Solar Europea).

Por lo que se refiere a los **programas de financiación de la UE**, el Fondo de Innovación es uno de los mayores del mundo¹²⁶ en materia de demostración y despliegue a escala industrial de tecnologías innovadoras limpias. El programa InvestEU constituye un elemento fundamental del plan de recuperación de la UE, ya que respalda la disponibilidad de financiación para las pymes, las empresas de mediana capitalización y otras empresas, y el acceso de todas ellas a la misma. La política de cohesión proporciona inversiones a gran escala y a largo plazo, sobre todo para las pymes, en las cadenas de valor industriales y de innovación con el fin de impulsar el desarrollo de tecnologías y modelos de negocio renovables y con bajas emisiones de carbono. Además, el Banco Europeo de Inversiones (BEI) y el Fondo Europeo de Inversiones (FEI) apoyan eficazmente el desarrollo de la tecnología profunda que la UE necesita para alcanzar sus objetivos de sostenibilidad. Otros programas de financiación, como el Fondo de Modernización y el Fondo Social para el Clima propuesto¹²⁷, tienen por objeto ayudar a canalizar los ingresos procedentes de las políticas relacionadas con el clima en apoyo a la transición energética.

Estos programas y otras iniciativas de la UE, como la unión de los mercados de capitales (UMC)¹²⁸, pretenden seguir movilizando a los inversores privados en la financiación de empresas emergentes de tecnología climática y tecnología climática profunda¹²⁹. Por ejemplo, la asociación pionera entre la Comisión Europea y el programa Catalyst de la red

¹²⁴ COM(2020) 953 final («Informe sobre la situación de la competitividad de las energías limpias») y COM(2022) 332 final («Nueva Agenda Europea de Innovación»).

¹²⁵ COM(2022) 332 final («Nueva Agenda Europea de Innovación»).

¹²⁶ 38 000 millones EUR de ayuda entre 2020 y 2030, suponiendo un precio del carbono de 75 EUR/tCO₂.

¹²⁷ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund_en.

¹²⁸ https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union_es

¹²⁹ Las empresas emergentes de tecnología profunda se basan en conocimientos científicos y se caracterizan por largos ciclos de I+D y modelos empresariales no probados. Las empresas emergentes de tecnología climática profunda son empresas que utilizan tecnología puntera para afrontar retos medioambientales.

Breakthrough Energy¹³⁰ es otro ejemplo de cómo impulsar las inversiones en tecnologías climáticas fundamentales reuniendo a los sectores público y privado.

La creación de sinergias entre los programas e instrumentos de la UE y el aumento de la cohesión entre los ecosistemas locales de innovación de esta última pueden ayudar a la Unión a alcanzar el liderazgo mundial en tecnología climática y colmar así la brecha de expansión que la separa de otras economías importantes sacando partido a sus diversos talentos, activos intelectuales y capacidades industriales. El cuadro europeo de indicadores de la innovación de 2022¹³¹ destaca la importancia de establecer un ecosistema de innovación paneuropeo, y la Comunicación de la Comisión de 2022 «Nueva Agenda Europea de Innovación»¹³² representa ya un paso adelante, pues tiene por objeto aprovechar las ventajas que ofrece el ecosistema de innovación de la UE¹³³.

2.5 Repercusiones del cambio sistémico

A fin de lograr la doble transición ecológica y digital y cumplir los objetivos del Pacto Verde Europeo y del paquete de medidas «Objetivo 55», el sector de las energías limpias de la UE debe acelerar un cambio de paradigma ya en marcha: la necesidad de eliminar los compartimentos estancos entre sectores y reforzar la cooperación en ámbitos horizontales (p. ej., el papel fundamental de las materias primas, la digitalización del sistema energético y la interacción de las diferentes tecnologías en los procesos industriales, los edificios individuales y las ciudades). Algunos ejemplos de esta transformación sistémica son: las tecnologías energéticas limpias relacionadas con los edificios; la digitalización del sistema energético; las comunidades de energía y la cooperación a escala subnacional.

Tecnologías energéticas limpias relacionadas con los edificios: las instalaciones solares fotovoltaicas obligatorias en los tejados y la duplicación de la tasa actual de despliegue de las bombas de calor individuales¹³⁴ ayudarán a alcanzar los objetivos climáticos y energéticos. La consecución de estos objetivos requerirá asimismo que el sector de la construcción integre un amplio conjunto de soluciones complementarias para los edificios nuevos, como métodos de aislamiento y sistemas de control eficientes, además de medidas de eficiencia en el uso de los recursos. Esto debe ir acompañado de un incremento de la tasa de renovación y del fomento de una renovación en profundidad. El almacenamiento de energía *in situ* (baterías) es otro elemento importante para permitir mayores porcentajes de bombas de calor y evitar picos extremos en la generación y transporte o distribución de la electricidad. Aparte de la disponibilidad de productos, las cualificaciones de instalación y los servicios operativos de

¹³⁰ Asociación entre la Comisión y el programa Catalyst de la red Breakthrough Energy (europa.eu); https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_21_2746.

¹³¹ Comisión Europea: *European Innovation Scoreboard 2022: Annual Report* [«Cuadro europeo de indicadores de la innovación de 2022: informe anual», documento en inglés], 2022.

¹³² COM(2022) 332 final («Nueva Agenda Europea de Innovación»).

¹³³ La Comunicación afirma que la UE impulsará medidas concretas para mejorar el acceso a la financiación de las empresas emergentes y en expansión de la UE; perfeccionar las normas de modo que los innovadores puedan experimentar con nuevas ideas; contribuir a la creación de «valles regionales de innovación»; atraer y retener talento en la UE; y mejorar la formulación de políticas en materia de innovación con una terminología, indicadores y conjuntos de datos claros y con apoyos políticos a los Estados miembros.

¹³⁴ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

las diferentes tecnologías resultan cruciales para los sectores de las energías limpias de la UE y su competitividad.

Digitalización del sistema energético: la digitalización está aumentando de forma exponencial: solo en los últimos cinco años se ha triplicado el tráfico de internet, y en los últimos dos se han creado alrededor del 90 % de los datos del mundo en la actualidad¹³⁵. La descentralización de la energía —tanto en lo referente a su generación como a través de millones de aparatos inteligentes conectados, bombas de calor y coches eléctricos— está transformando el sistema energético local. Una evaluación relativa a Hamburgo (Alemania) señaló un importante potencial de ahorro de costes: invertir 2 millones EUR en recarga inteligente para reducir los picos de demanda puede evitar la necesidad de invertir 20 millones EUR en el refuerzo de la red necesario para atender a una cuota del 9 % de los vehículos eléctricos en la ciudad¹³⁶. Sin una gestión inteligente de las necesidades energéticas locales, los límites de capacidad de las redes de distribución pueden ralentizar la transformación hacia una energía limpia. No obstante, algunas soluciones digitales podrían aumentar el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) si no se adoptan las medidas de eficiencia oportunas, como la recuperación del calor residual de los centros de datos.

Comunidades de energía y cooperación a escala subnacional: al menos dos millones de ciudadanos europeos han participado en más de ocho mil cuatrocientas comunidades energéticas y han llevado a cabo más de trece mil proyectos desde el año 2000¹³⁷. Las comunidades de energía representan un importante banco de pruebas y un campo de aplicación para las tecnologías y soluciones energéticas limpias. En la actualidad, se calcula que la capacidad total de energías renovables instalada por las comunidades de energía en Europa asciende, como mínimo, a 6,3 GW (es decir, alrededor del 1-2 % de la capacidad instalada a nivel nacional). La energía solar fotovoltaica acapara la mayor parte de la capacidad instalada, seguida de la energía eólica terrestre. El desarrollo de modelos participativos para más tecnologías energéticas limpias, dirigidos en particular a los hogares con menores ingresos, puede impulsar la creación de más comunidades de energía en toda la UE y, al mismo tiempo, ayudar a combatir la pobreza energética.

Mejorar la interacción entre ámbitos horizontales, teniendo en cuenta las interdependencias entre los diferentes sectores, tanto a nivel de los Estados miembros como de la UE, es fundamental para acelerar el despliegue y la ampliación de las tecnologías energéticas

¹³⁵ Agencia Internacional de la Energía: *Digitalization and Energy* [«Digitalización y energía», documento en inglés], 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>.

¹³⁶ Stromnetz Hamburg: *Elektromobilität – Netzausbaustrategie und Restriktionen im Hamburger Verteilnetz* [documento en alemán], Hamburgo, 2018, <https://www.hamburg.de/contentblob/10993526/1f90214d9b07e4de6323c078ff779d9d/data/d-anlage-13-pra%CC%88sentation-snh-20180504-energienetzbeirat-snh.pdf>.

¹³⁷ Schwanitz, V. J.; Wierling, A.; Zeiss, J. P.; von Beck, C.; Koren, I. K.; Marcroft, T., y Dufner, S.: *The contribution of collective prosumers to the energy transition in Europe - Preliminary estimates at European and country level from the COMETS inventory* [«La contribución de los prosumidores colectivos a la transición energética de Europa: estimaciones preliminares a escala europea y nacional del inventario COMETS», documento en inglés], agosto de 2021, <https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>.

limpias, así como para reforzar la competitividad de la UE en el mercado mundial de la energía limpia¹³⁸.

3. ENFOQUE EN TECNOLOGÍAS Y SOLUCIONES DE ENERGÍAS LIMPIAS ESENCIALES

En esta sección se presenta la evaluación de la competitividad de una serie de tecnologías y soluciones energéticas limpias que son fundamentales para la generación, el almacenamiento y la integración de sistemas de energía. También se ofrece información sobre la evolución de la tecnología y del mercado para cumplir los objetivos del Pacto Verde Europeo y de REPowerEU. La sección incluye un análisis de la energía solar fotovoltaica, la energía eólica, las bombas de calor para aplicaciones de construcción, las baterías, la producción de hidrógeno mediante electrólisis, los combustibles renovables y la infraestructura digital, y proporciona una visión general de otras tecnologías importantes¹³⁹. Este análisis basado en datos contrastados, que incorpora los indicadores enumerados en el anexo I, se llevó a cabo en el marco del Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias (CETO, por sus siglas en inglés) de la Comisión, ejecutado por el Centro Común de Investigación. En el sitio web del CETO pueden consultarse los informes detallados sobre cada tipo de tecnología¹⁴⁰.

3.1. Energía solar fotovoltaica¹⁴¹

La energía solar fotovoltaica ha sido la tecnología de generación de electricidad que más rápido ha crecido en el mundo durante la última década. Todas las hipótesis planteadas con miras a lograr un sistema energético climáticamente neutro¹⁴² asignan un papel central a la energía fotovoltaica. La reciente Comunicación sobre la Estrategia de Energía Solar de la UE¹⁴³ pide añadir alrededor de 450 GWac de nueva capacidad al sistema fotovoltaico entre 2021 y 2030. Habida cuenta de la tendencia actual de instalar una capacidad de CC de entre 1,25 y 1,3 veces la capacidad de CA para optimizar el uso de la conexión a la red¹⁴⁴, la capacidad fotovoltaica nominal total en la UE ascendería aproximadamente a 720 GWp. La Estrategia de Energía Solar de la UE aborda los principales cuellos de botella y obstáculos a la inversión con vistas a acelerar el despliegue, garantizar la seguridad del suministro y maximizar los beneficios socioeconómicos de la energía fotovoltaica a lo largo de toda la

¹³⁸ SAPEA (Asesoramiento Científico para las Políticas de las Academias Europeas): *A systemic approach to the energy transition in Europe* [«Enfoque sistémico de la transición energética en Europa», Berlín, 2021, <https://doi.org/10.26356/energytransition>].

¹³⁹ Energía hidroeléctrica; energía oceánica; energía geotérmica; energía solar termoeléctrica de concentración; captura, almacenamiento y utilización de carbono; bioenergía, y energía nuclear.

¹⁴⁰ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁴¹ Análisis del CETO basado en datos contrastados (Chatzipanagi, A. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Photovoltaics in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La energía fotovoltaica en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, doi: 10.2760/812610 JRC130720), salvo que se indique otra cosa.

¹⁴² En particular, las hipótesis previstas por organizaciones no gubernamentales como Greenpeace, Energy Watch Group, Bloomberg New Energy Finance, la Agencia Internacional de la Energía y la Agencia Internacional de Energías Renovables, así como por asociaciones de la industria fotovoltaica.

¹⁴³ COM(2022) 221 final («Estrategia de Energía Solar de la UE»).

¹⁴⁴ Kougias, I. y otros: *The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan* [«El papel de la energía fotovoltaica en relación con el Pacto Verde Europeo y el plan de recuperación», documento en inglés], 2021 (doi: [10.1016/j.rser.2021.111017](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111017)). CA: corriente alterna; CC: corriente continua.

cadena de valor¹⁴⁵. La Alianza Europea de la Industria Solar Fotovoltaica, una de las iniciativas concretas de la Estrategia de Energía Solar de la UE, fue aprobada formalmente por la Comisión en octubre de 2022 y tiene por objeto ampliar las tecnologías de fabricación de productos y componentes solares fotovoltaicos innovadores¹⁴⁶.

Análisis tecnológico: La eficiencia media de los módulos basados en células de silicio ha aumentado, pasando del 15,1 % en 2011 al 20,9 % en 2021¹⁴⁷, gracias al uso de obleas cortadas de mayor tamaño y de células solares de mayor eficiencia, con diseños de células multiunión. Europa posee importantes conocimientos especializados y el liderazgo en la prometedora tecnología de las perovskitas, para la que están creando líneas de producción varias empresas de la UE, como Evolar (Suecia), Saule Technologies (Polonia) y Solaronix (Francia).

La Estrategia de Energía Solar de la UE¹⁴⁸ pretende invertir la tendencia a la baja observada en la financiación pública y privada de la industria fotovoltaica¹⁴⁹. No obstante, la UE sigue siendo un potente innovador en este ámbito, con un número significativo de publicaciones y solicitudes de patentes registradas entre 2017 y 2019. Alemania por sí sola ocupa el quinto puesto del mundo en el ámbito de las patentes de invenciones de alto valor en el sector fotovoltaico.

Análisis de la cadena de valor: Tanto los datos de producción como los nuevos proyectos de inversión confirman el dominio de Asia, y en particular de China, en el panorama de la fabricación fotovoltaica. China está construyendo toda la capacidad adicional de fabricación de polisilicio de 80 000 t anunciada a principios de 2021 (que se añadirá a una capacidad total de ~650 000 t en 2020), así como las 118 000 t ya en construcción¹⁵⁰. Las células solares de silicio, que se producen principalmente en China, representan más del 95 % de la producción mundial. No obstante, la UE mantiene una cuota considerable en los segmentos de la cadena de valor fotovoltaica dedicados a la fabricación de equipos de producción (50 %) e inversores (15 %).

¹⁴⁵ Entre las iniciativas emblemáticas anunciadas en la Estrategia de Energía Solar de la UE figuran la Iniciativa de Techos Solares de la UE; un paquete de medidas de la Comisión sobre la concesión de autorizaciones, que incluye una propuesta legislativa, recomendación y orientaciones; la asociación a gran escala en materia de capacidades de la UE para las energías renovables terrestres, incluida la energía solar; y la Alianza de la Industria Solar Fotovoltaica de la UE. En particular, la Iniciativa de Techos Solares de la UE haría obligatoria la instalación de energía solar en techos en los siguientes casos: i) todos los edificios públicos y comerciales nuevos con una superficie útil superior a 250 m² en 2026; ii) todos los edificios públicos y comerciales existentes con una superficie útil superior a 250 m² en 2027; y iii) todos los edificios residenciales nuevos en 2029. Se espera que la combinación de estas medidas aumente significativamente la inversión en activos fotovoltaicos y amplíe las capacidades de fabricación de sistemas fotovoltaicos en la UE.

¹⁴⁶ https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11_en.

¹⁴⁷ VDMA: *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)* [«Hoja de ruta tecnológica internacional sobre la energía fotovoltaica», documento en inglés], 2022.

¹⁴⁸ En particular, tiene por objeto poner en marcha una iniciativa emblemática de I+i sobre energía solar en el marco del próximo programa de trabajo de Horizonte Europa, introducir un pilar de I+i en la Alianza de la Industria Solar Fotovoltaica de la UE propuesta, y desarrollar junto con los Estados miembros una agenda común de I+i sobre energía solar en el marco del Espacio Europeo de Investigación.

¹⁴⁹ Últimas cifras disponibles para 2018 y 2019.

¹⁵⁰ Jäger-Waldau, Arnulf (2022): «Overview of the Global PV Industry» [«Visión general de la industria fotovoltaica a escala mundial», artículo en inglés], en: Letcher, Trevor M. (editor): *Comprehensive Renewable Energy* [«Análisis exhaustivo de las energías renovables», publicación en inglés], 2.ª ed., vol. 1, Elsevier, Oxford, 2022, p. 130, doi: 10.1016/B978-0-12-819727-1.00054-6.

Análisis del mercado mundial: La inversión mundial en nueva generación solar aumentó un 19 % en 2021 hasta alcanzar los 205 000 millones USD (242 500 millones EUR¹⁵¹). Sin embargo, en 2021 se produjo un nuevo deterioro de la balanza comercial de la UE, ya que sus importaciones aumentaron mientras que sus exportaciones se mantuvieron estables, de modo que representaron el 13 % de las exportaciones mundiales. Los mayores costes de materiales experimentados en muchos sectores industriales en 2021 y 2022 dieron lugar a un incremento excepcional y sin precedentes de los costes de producción de células y módulos, invirtiendo la tendencia de reducción de costes registrada la última década. No obstante, la competitividad de la energía fotovoltaica siguió mejorando en comparación con las fuentes de electricidad no renovables¹⁵². Así pues, el número de países en los que la generación de electricidad fotovoltaica es la fuente más barata va en aumento. El encarecimiento de los combustibles fósiles debido a catástrofes naturales, accidentes o conflictos internacionales no puede sino reforzar esta tendencia.

En conclusión, los últimos datos disponibles con respecto a 2021 y 2022 confirman la tendencia observada anteriormente¹⁵³. La UE ha confirmado su posición como uno de los mayores mercados de energía fotovoltaica y como gran innovadora, sobre todo en tecnologías y aplicaciones fotovoltaicas emergentes (como la agrovoltaica, la fotovoltaica integrada en la construcción y la fotovoltaica flotante). Sin embargo, la UE depende en gran medida de las importaciones procedentes de Asia para varios componentes cruciales (oblas, lingotes, células y módulos) y solo mantiene una presencia significativa en los segmentos fabricación de inversores y equipos de producción (que actualmente se enfrentan a un cuello de botella debido a la escasez de chips¹⁵⁴). Otros obstáculos debidos a las limitaciones de asequibilidad (sobre todo para los hogares de bajos ingresos y las pymes) o los tiempos de espera excesivamente largos (p. ej., vinculados a la insuficiencia de instaladores fotovoltaicos cualificados) ya están afectando al gran despliegue de la energía fotovoltaica. Las medidas e iniciativas emblemáticas anunciadas en la Estrategia de Energía Solar de la UE brindan las principales oportunidades para invertir en activos fotovoltaicos y desarrollar las capacidades de fabricación de energía fotovoltaica en la UE, así como la diversificación de las importaciones. Paralelamente, los continuos avances tecnológicos hacia diseños y procesos de fabricación de células más eficientes y sostenibles han permitido seguir mejorando la competitividad de las tecnologías fotovoltaicas en comparación con las fuentes de energía no renovables, a pesar del aumento de los costes de las materias primas. Estos elementos refuerzan el interés empresarial por impulsar tanto la producción como el despliegue en la UE, incluidas las aplicaciones innovadoras.

¹⁵¹ Sobre la base de un tipo de cambio medio de 1,1827 EUR por 1 USD durante el año 2021. Véase https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

¹⁵² Esto se debe a que los precios del gas natural, el petróleo y el carbón han aumentado mucho más rápidamente durante el mismo período. Véase <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>.

¹⁵³ COM(2021) 952 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

¹⁵⁴ Informe de la encuesta sobre chips de la UE: [European Chips Report | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs \(europa.eu\)](#) [«Informe Europeo de Chips», documento en inglés publicado en el sitio web de la Dirección General de Mercado Interior, Industria, Emprendimiento y Pymes].

3.2. Energía eólica marina y terrestre¹⁵⁵

La energía eólica desempeña un papel central en la política climática y energética de la UE, ya que la aceleración de su despliegue resulta fundamental para la consecución de los objetivos del Pacto Verde Europeo, del paquete de medidas «Objetivo 55» y de REPowerEU. El plan REPowerEU pide que se acelere la instalación de capacidades de energía eólica, con 510 GW que han de instalarse de aquí a 2030¹⁵⁶, con miras a alcanzar una cuota del 31 % de las capacidades de producción de energía instalada en la UE¹⁵⁷.

La UE ha sido líder mundial en I+i sobre energía eólica desde 2014, con un gasto público de 883 millones EUR en el período 2014-2021, y actualmente alberga el 38 % de todas las empresas innovadoras, con el mayor conjunto de empresas emergentes e innovadoras. En 2021, sin embargo, solo se instalaron en la UE 11 GW de energía eólica (10 GW de eólica terrestre; 1 GW de eólica marina) y las perspectivas para 2022 siguen estando por debajo del ritmo necesario para alcanzar los objetivos de REPowerEU. China se encuentra actualmente a la cabeza en cuanto a instalaciones de energía eólica acumuladas, con una capacidad de 338 GW, debido principalmente al aumento de las tasas de despliegue en 2021. Ese mismo año, la UE alcanzó unos 190 GW de capacidad instalada acumulada.

Con vistas a cumplir los objetivos de REPowerEU, será fundamental acelerar el despliegue de la energía eólica, lo que requerirá unas claras fuentes de inversión y la traducción de los objetivos políticos en medidas de ejecución reales, incluida la adopción de compromisos para facilitar la concesión de permisos para parques eólicos.

Análisis tecnológico: La capacidad total instalada de energía eólica terrestre a escala mundial fue de 769 GW en 2021, casi tres veces superior a la de diez años antes¹⁵⁸, con una capacidad instalada de 72 GW solo en 2021. El año 2021 fue también un año récord para la energía eólica marina, con 21 GW de nueva capacidad instalada en todo el mundo, más del triple del récord anterior registrado en 2020. La capacidad total instalada a escala mundial ascendió a 55 GW en 2021¹⁵⁹. China lideró el aumento de la capacidad instalada mundial, con 30,6 GW de capacidad eólica terrestre y 16,9 GW de capacidad eólica marina instaladas en 2021.

La UE tenía una capacidad total instalada de energía eólica terrestre de 173 GW y una capacidad total instalada de energía eólica marina de unos 16 GW a finales de 2021. La capacidad eólica total equivalía aproximadamente al 14 % del consumo total de electricidad de la UE. En 2021 también se registró la segunda contribución anual más elevada de

¹⁵⁵ Análisis del CETO basado en datos contrastados (Telsnig, T. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Wind Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La energía eólica en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, doi:10.2760/855840, JRC130582), salvo que se indique otra cosa.

¹⁵⁶ SWD(2022) 230 final (*Commission Staff Working Document Implementing the REPower EU Action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets* [«Documento de trabajo de los servicios de la Comisión por el que se aplica el Plan de Acción REPowerEU: necesidades de inversión, acelerador del hidrógeno y consecución de los objetivos de biometano», documento en inglés]). Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

¹⁵⁷ SWD(2022) 230 final (según las proyecciones de modelización PRIMES de la capacidad instalada neta prevista en REPowerEU para 2030), gráfico 3: capacidad instalada neta prevista en REPowerEU para 2030 (GWe). Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

¹⁵⁸ IRENA: *Estadísticas de capacidad renovable 2022*, Abu Dabi, 2002.

¹⁵⁹ IRENA: *Estadísticas de capacidad renovable 2022*, Abu Dabi, 2002.

capacidad eólica terrestre en la UE desde 2010 (despliegue anual de 10 GW¹⁶⁰); sin embargo, solo se desplegó 1 GW de energía eólica marina¹⁶¹. Los agentes del sector destacan la concesión de permisos como uno de los principales cuellos de botella para el despliegue continuo y masivo de la energía eólica, ya que provoca retrasos y supone un menor número de proyectos finalizados. Esto, a su vez, ejerce presión sobre la rentabilidad de la cadena de suministro. La Comisión ha presentado propuestas jurídicas y orientaciones para acelerar la concesión de permisos dentro del paquete REPowerEU.

Análisis de la cadena de valor: El sector de la energía eólica se ha convertido en una industria mundial con cerca de ochocientas instalaciones de fabricación, la mayoría de las cuales se encuentran en China (45 %) y Europa (31 %)¹⁶². La UE ha mantenido el liderazgo en materia de patentes de alto valor en tecnologías de energía eólica: su cuota de invenciones de alto valor fue del 59 % en 2017-2019. Los fabricantes de aerogeneradores de la UE siguen a la cabeza en calidad, desarrollo tecnológico e inversión en I+i. La industria eólica de la UE posee asimismo grandes capacidades de fabricación de componentes de alto valor añadido (p. ej., torres, cajas de cambios y palas) y dispositivos que también pueden ser utilizados por otros sectores industriales (p. ej., generadores, convertidores de potencia y sistemas de control). La cadena de valor de la fabricación de energía eólica marina de la UE obtiene principalmente sus componentes de fabricantes de la UE. En cambio, en el caso de la energía eólica terrestre, los fabricantes de equipos originales (OEM, por sus siglas en inglés) de la UE obtienen sus componentes de numerosos proveedores extranjeros diferentes.

Muchas de las materias primas utilizadas en los generadores se importan principalmente de China. Las posibles dificultades a la hora de aumentar la producción de materias primas para alcanzar los objetivos de 2030 podrían plantear retos a la industria eólica de la UE. El incremento de los precios de los recursos en 2021 y la incertidumbre sobre el suministro también suponen un obstáculo. La industria ha planteado asimismo problemas medioambientales en relación con el reciclado de palas de material compuesto, por lo que los programas de investigación en materia de energía eólica tanto a escala nacional como de la UE se centran cada vez más en la circularidad.

Análisis del mercado mundial: Durante la última década, la UE ha mantenido una balanza comercial positiva con el resto del mundo, que oscila entre 1 800 y 2 800 millones EUR. Sin embargo, su balanza comercial con China y la India lleva siendo negativa desde 2018. En 2020, los OEM chinos superaron por primera vez a sus homólogos de la UE en cuanto a cuota de mercado mundial, aunque los principales mercados de la UE albergan un número considerable de fabricantes nacionales¹⁶³.

En conclusión, el sector eólico de la UE mantiene su liderazgo mundial en materia de I+i y de patentes de alto valor, gracias a la capacidad de fabricación, la mano de obra y las

¹⁶⁰ WindEurope: *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026* [«Energía eólica en Europa: estadísticas de 2021 y perspectivas para 2022-2026», documento en inglés], Bélgica, 2022.

¹⁶¹ WindEurope: *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026* [«Energía eólica en Europa: estadísticas de 2021 y perspectivas para 2022-2026», documento en inglés], Bélgica, 2022.

¹⁶² Seguidas de la India (7 %), Brasil (5 %) y América del Norte (4,5 %). Véase también: WindEurope/Wood Mackenzie: *Wind energy and economic recovery in Europe* [«Energía eólica y recuperación económica en Europa», documento en inglés], Bélgica, 2020.

¹⁶³ WindEurope/Wood Mackenzie: *Wind energy and economic recovery in Europe* [«Energía eólica y recuperación económica en Europa», documento en inglés], 2020.

cualificaciones de que dispone. Sin embargo, la industria tendrá que duplicar con creces la actual tasa anual de instalación de capacidad en la UE para alcanzar los objetivos de 2030.

Se espera que la aplicación de la Directiva sobre fuentes de energía renovables¹⁶⁴, la reciente propuesta por la que se modifica dicha Directiva¹⁶⁵, así como la recomendación y las orientaciones respectivas de la Comisión de 2022¹⁶⁶, superen los principales obstáculos al despliegue relacionados con los permisos. Una indicación clara y anticipada de los planes de instalación eólica de los Estados miembros también permitirá la preparación oportuna de las futuras capacidades. Paralelamente, la I+i sobre circularidad dará un impulso a la industria al abordar las preocupaciones medioambientales y las perturbaciones del suministro, mejorando así la competitividad del sector de la energía eólica de la UE.

3.3. Bombas de calor para aplicaciones de construcción

A escala de la UE, las bombas de calor reciben cada vez más apoyo en el marco del Pacto Verde Europeo, el paquete de medidas «Objetivo 55» y el plan REPowerEU¹⁶⁷. El plan REPowerEU pide que se duplique la tasa actual de despliegue de bombas de calor individuales, lo que daría lugar a un despliegue total de 10 millones de bombas de calor en los próximos cinco años y de 30 millones de aquí a 2030, y se complementaría con el aumento de la capacidad de fabricación de la UE. También pide que se acelere el despliegue de grandes bombas de calor en las redes urbanas de calefacción y refrigeración. El despliegue conjunto generalizado tanto de la energía fotovoltaica (y solar térmica) en tejados como de las bombas de calor, con controles inteligentes que respondan a la carga de la red y las señales de precios, contribuiría a la descarbonización de la calefacción y mitigaría los retos que plantea la integración de la red.

Análisis tecnológico: Las bombas de calor para aplicaciones de construcción son productos comercialmente disponibles que pueden clasificarse en función de la fuente a partir de la cual extraen energía térmica (aire, agua o tierra), el medio al que transfieren calor (aire o agua), su finalidad (calefacción o refrigeración de estancias, generación de agua caliente para viviendas) y los segmentos de mercado (edificios comerciales o residenciales, y redes).

Por lo que se refiere a las bombas de calor que se utilizan principalmente para calefacción de estancias y generación de agua caliente sanitaria, el material instalado medido para este sector ascendió a casi 17 millones de unidades en Europa a finales de 2021, mientras que las ventas alcanzaron los 2,18 millones de unidades en 2021, lo que supone una tasa de crecimiento anual compuesto del 17 % en los últimos cinco años y del 20 % en los últimos tres años¹⁶⁸.

Las actividades de I+i sobre bombas de calor individuales se basan en la demanda de unidades más eficientes, compactas y silenciosas; mayores intervalos de funcionamiento a temperatura ambiente; la digitalización para una integración óptima en las redes de energía; y

¹⁶⁴ DO L 328 de 21.12.2018. Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

¹⁶⁵ COM(2021) 557 final [«Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo y la Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo»].

¹⁶⁶ SWD(2022) 0149 final («Orientaciones para los Estados miembros sobre buenas prácticas para acelerar los procedimientos de concesión de permisos para proyectos de energías renovables»).

¹⁶⁷ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

¹⁶⁸ Asociación Europea de Bombas de Calor (EHPA, por sus siglas en inglés): <https://www.ehpa.org/market-data/>, 2022.

generación y almacenamiento de energía a nivel local. También se basan en la evolución de la normativa de la UE para lograr una mayor eficiencia energética y un menor impacto ambiental durante su ciclo de vida, teniendo en cuenta la circularidad de los materiales y los refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (PCG). La I+i sobre bombas de calor comerciales aborda, por ejemplo, la integración del suministro simultáneo de calor y frío con almacenamiento térmico.

La posición de la UE en materia de I+i es sólida y cada vez mejor. Lidera las patentes de «bombas de calor destinadas principalmente a calefacción» para aplicaciones de construcción. En 2017-2019, el 48 % de las patentes de «invenciones de alto valor» se presentaron en la UE, seguida de Japón (12 %), los Estados Unidos (8 %), Corea del Sur (7 %) y China (5 %)¹⁶⁹. En 2014-2022, Horizonte 2020 otorgó un total de 277 millones EUR en financiación de proyectos sobre bombas de calor para aplicaciones de construcción.

Análisis de la cadena de valor: El volumen de negocios de las actividades de fabricación, instalación y mantenimiento de bombas de calor en la UE ascendió a 41 000 millones EUR en 2020, y ha crecido a una tasa media anual del 21 % en los últimos tres años. Los puestos de trabajo directos e indirectos ascendieron a 318 800 en 2020, lo que supone un crecimiento anual medio del 18 % en los últimos tres años. Estos datos comprenden todos los tipos de bombas de calor, incluidas las bombas de calor aire-aire utilizadas con fines de refrigeración o calefacción¹⁷⁰.

Las bombas de calor no necesitan materias primas fundamentales para su producción, pero se ven afectadas por la actual escasez mundial de semiconductores.

Análisis del mercado mundial: En la UE, la cadena de valor de las bombas de calor destinadas principalmente a calefacción consta de numerosas pymes y unos pocos grandes agentes. La proporción de bombas de calor importadas va en aumento y el déficit comercial alcanzó los 390 millones EUR en 2021, frente al superávit de 202 millones EUR registrado cinco años antes¹⁷¹. Las importaciones procedentes de China se duplicaron en 2021 hasta alcanzar los 530 millones EUR.

En conclusión, el despliegue de bombas de calor ya avanza rápidamente, pero debe acelerarse aún más para cumplir los objetivos de REPowerEU. Los proveedores establecidos en la UE deben aumentar la producción para aprovechar la creciente demanda de bombas de calor de la UE. Algunas asociaciones del sector argumentan que una eliminación más rápida de los refrigerantes con un elevado PCG ralentizaría el aumento para aplicaciones específicas, pero los plazos de prohibición previstos en la propuesta por la que se modifica el Reglamento sobre los gases fluorados¹⁷² están concebidos para dar a la industria tiempo suficiente para adaptarse. La falta de instaladores formados y los elevados costes iniciales pueden ralentizar el despliegue en la UE.

¹⁶⁹ Lyons, L. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: Las bombas de calor en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC130874.

¹⁷⁰ Según los datos de EurObserv'ER, 2020.

¹⁷¹ Comext (base de datos sobre comercio exterior y producción), código 841861.

¹⁷² COM(2022) 150 final [«Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los gases fluorados de efecto invernadero, por el que se modifica la Directiva (UE) 2019/1937 y se deroga el Reglamento (UE) n.º 517/2014»].

La industria pide una plataforma aceleradora de las bombas de calor que reúna a la Comisión, a los Estados miembros y al propio sector. La plataforma estaría respaldada por señales políticas claras e ininterrumpidas que generarían confianza en la planificación a largo plazo; garantizarían un marco normativo favorable; reducirían los costes mediante una mayor cooperación e I+i; y elaborarían un pacto por las capacidades centrado en las bombas de calor. En el marco del plan REPowerEU, la Comisión apoyará los esfuerzos de los Estados miembros para poner en común sus recursos públicos a través de posibles proyectos importantes de interés común europeo (PIICE) centrados en tecnologías e innovaciones de vanguardia a lo largo de la cadena de valor de las bombas de calor, y establecer una asociación a gran escala en materia de capacidades en el marco del pacto por las capacidades.

3.4. Baterías

Las baterías desempeñarán un papel decisivo en la consecución de los objetivos del Pacto Verde Europeo y en la aplicación del plan REPowerEU¹⁷³, ya que pueden reducir la dependencia de las importaciones de combustible en el transporte, así como garantizar el máximo uso de la electricidad renovable y reducir las restricciones. Se espera que más de cincuenta millones de vehículos eléctricos circulen por las carreteras de la UE de aquí a 2030¹⁷⁴ (con al menos 1,5 TWh de baterías) y más de 80 GW/160 GWh de baterías estacionarias¹⁷⁵. La UE avanza gradualmente hacia vehículos nuevos de emisión cero de aquí a 2035, en consonancia con el objetivo de lograr que todo el parque automovilístico de la UE de 270 millones de vehículos sea de emisión cero (en su mayoría eléctricos) de aquí a 2050. La electromovilidad es el principal motor de la demanda de baterías. Se espera que las baterías de ion-litio dominen el mercado mucho más allá de 2030, pero paralelamente se están desarrollando otras tecnologías.

Análisis tecnológico: A pesar de las perturbaciones del suministro de chips y magnesio, el despliegue de la tecnología de baterías en la UE ha alcanzado máximos históricos: en 2021 se vendieron 1,7 millones de vehículos eléctricos nuevos, que representaron el 18 % del mercado (frente al 3 % en 2019 y el 10,5 % en 2020¹⁷⁶), por delante de China (16 %). Las ventas de vehículos eléctricos nacionales oscilaron entre el 1,3 % en Chipre y el 45 % en Suecia. El mercado de baterías estacionarias de la UE también está creciendo rápidamente y se prevé que alcance los 8 GW/13,7 GWh para finales de 2022¹⁷⁷. No obstante, es necesaria una mayor aceleración para reducir la dependencia de las centrales de punta de gas en consonancia con los objetivos de REPowerEU.

¹⁷³ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

¹⁷⁴ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal* [«Hipótesis de actuación para cumplir el Pacto Verde Europeo», artículo en inglés], Comisión Europea, 2021. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁵ *Policy scenarios for delivering the European Green Deal* [«Hipótesis de actuación para cumplir el Pacto Verde Europeo», artículo en inglés], Comisión Europea, 2021. Disponible en: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁶ Asociación de Fabricantes Europeos de Automóviles (ACEA, por sus siglas en francés), febrero de 2022, <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>.

¹⁷⁷ *European Market Monitor on Energy Storage* [«Observatorio del Mercado Europeo sobre Almacenamiento de Energía», documento en inglés], 6.ª ed. (EMMES 6.0), <https://ease-storage.eu/publication/emmes-6-0-june-2022/>.

En 2021, el precio medio de las baterías disminuyó un 6 %, hasta situarse en torno a los 116 EUR/kWh¹⁷⁸ en el mercado mundial y alrededor de los 150 EUR/kWh en el mercado de la UE. Continúa así una tendencia a largo plazo. Sin embargo, con el aumento de los precios en 2022 debido a perturbaciones por el lado de la oferta, la tendencia se está invirtiendo (por ejemplo, en la primavera de 2022, el precio del carbonato de litio aumentó un 974 % con respecto a 2021¹⁷⁹). Los conjuntos de baterías serán, como mínimo, un 15 % más caros en 2022 que en 2021¹⁸⁰. El coste del sistema de las aplicaciones de ion-litio a escala de red fue de unos 350 EUR/kWh en 2021¹⁸¹ y, en el caso de los sistemas de almacenamiento doméstico, aproximadamente el doble.

Análisis de la cadena de valor: Casi toda la producción en masa de baterías de ion-litio de la UE en 2021 siguieron llevándola a cabo fabricantes asiáticos establecidos en la UE (Hungría y Polonia). La construcción de nuevas gigafábricas permite que la UE (en particular Alemania y Suecia) vaya adquiriendo importancia gradualmente en el mercado. La empresa sueca Northvolt produjo su primera celda electrolítica fabricada con un 100 % de níquel, manganeso y cobalto reciclados a finales de 2021, y comenzó a comercializarla en 2022. La empresa defiende la alta eficiencia de su proceso de reciclado, con una recuperación de hasta el 95 % de los metales contenidos en las baterías¹⁸².

Se espera que la UE alcance más de 75 GWh¹⁸³ de capacidad de producción instalada a finales de 2022 (frente a los 44 GWh de mediados de 2021). De los proyectos en curso se desprende que la UE está en vías de satisfacer el 69 % de la demanda de baterías de aquí a 2025 y el 89 % de aquí a 2030¹⁸⁴, en gran medida gracias a las iniciativas de la Alianza Europea de Baterías¹⁸⁵.

El segmento de materias primas anterior continúa siendo el menos resiliente de la cadena de valor de las baterías. A pesar de las diversas iniciativas de la UE, la brecha de suministro de materias primas para baterías aumentó en 2021¹⁸⁶. La mayoría de las baterías usadas se siguen enviando a Asia para su reciclado¹⁸⁷.

¹⁷⁸ BNEF: *Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh* [«Los precios de los conjuntos de baterías caen a una media de 132 USD/kWh», artículo en inglés], 30 de noviembre de 2021. Tipo de cambio de 0,8826 EUR por 1 USD a 30 de noviembre de 2021.

¹⁷⁹ Colthorpe, A.: «BloombergNEF predicts 30 % annual growth for global energy storage market to 2030» [«BloombergNEF prevé un crecimiento anual del 30 % para el mercado mundial de almacenamiento de energía hasta 2030», artículo en inglés], *Energy Storage News*, 4 de abril de 2022.

¹⁸⁰ AIE: *Global EV outlook 2022* [«Perspectivas mundiales de los vehículos eléctricos 2022», documento en inglés], 2022.

¹⁸¹ Con arreglo al seminario web de Aurora Energy Research *How high can battery costs get?* [«¿Cuánto pueden subir los costes de las baterías?»], de 21 de abril de 2022.

¹⁸² NorthVolt.com: *Northvolt produces first fully recycled battery cell* [«Northvolt produce la primera celda electrolítica 100 % reciclada», artículo en inglés], 12 de noviembre de 2021.

¹⁸³ Incluidas LG Chem (Polonia): 32 GWh; Samsung SDI (Hungría): 20 GWh; Northvolt (Suecia): 16 GWh; SK Innovation (Hungría): 7,5 GWh ([Benchmark Minerals: «Europe's EV gigafactory capacity pipeline to grow 6-fold to 789.2 GWh to 2030»](#)) [«Se espera que la capacidad potencial de las gigafábricas europeas de vehículos eléctricos se sextuple hasta alcanzar los 789,2 GWh en 2030», artículo en inglés], [Green Car Congress](#). Otros productores, como SAFT, MES y Leclanché, contribuyen con capacidades de menor escala, pero están ampliando sus volúmenes de producción.

¹⁸⁴ EIT InnoEnergy: *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries* [«Contribución a la reunión ministerial de alto nivel sobre baterías», documento en inglés], febrero de 2022.

¹⁸⁵ [Alianza Europea de Baterías \(europa.eu\)](#).

¹⁸⁶ EIT InnoEnergy: *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries* [«Contribución a la reunión ministerial de alto nivel sobre baterías», documento en inglés], febrero de 2022.

¹⁸⁷ EBA250, el programa de desarrollo industrial de la Alianza Europea de Baterías, <https://www.eba250.com/>.

La UE está avanzando rápidamente en la tecnología de ion-litio (en particular, la línea NMC¹⁸⁸ de mayor rendimiento), pero progresa demasiado lento en las tecnologías de baterías estacionarias basadas en abundantes materias primas (p. ej., las baterías de flujo y las baterías de ion-sodio, que también presentan un buen potencial para los vehículos eléctricos dada la evolución en China, entre otros factores). La UE también está tardando más tiempo en adoptar la tecnología más barata de litio-ferrofosfato (LFP), cada vez más utilizada en Asia y menos dependiente de materias primas fundamentales.

Análisis del mercado mundial: China controla el 80 % de la capacidad mundial de refinado de materias primas para baterías de ion-litio, el 77 % de la capacidad de producción de celdas y el 60 % de la capacidad de fabricación de componentes de baterías¹⁸⁹. El déficit comercial de la UE en baterías de ion-litio siguió creciendo en 2021 hasta alcanzar los 5 300 millones EUR¹⁹⁰ (un aumento del 25 % con respecto a 2020). La UE lleva a cabo en torno al 19 % de la producción mundial de vehículos eléctricos¹⁹¹, pero tiene escasa presencia en las fases anteriores de la cadena de suministro (con la excepción la transformación del cobalto). La producción y el despliegue de autobuses eléctricos en la UE (a finales de 2021 había 7 356 autobuses eléctricos en circulación) es insignificante en comparación con China, que cuenta con más del 90 % de las existencias mundiales de 670 000 autobuses eléctricos¹⁹².

En conclusión, la UE está desarrollando cada vez más la tan necesaria capacidad tecnológica en tipos de almacenamiento más baratos y de mayor duración (p. ej., tecnologías para baterías de ion-sodio, a base de zinc, y baterías de flujo) y mantiene una sólida posición en productos finales (sobre todo con respecto a la producción y despliegue de vehículos eléctricos, con la excepción del segmento de autobuses eléctricos). También se está poniendo al día rápidamente en la fabricación de celdas electrolíticas en lo referente a la tecnología de ion-litio y está en vías de alcanzar la autosuficiencia en la producción de baterías de aquí a 2030. A pesar de las iniciativas en curso, persiste el problema de la falta de producción propia de materias primas y materiales avanzados. La UE aspira a redoblar sus esfuerzos para afrontar estos retos, desde la extracción hasta el refinado, desde la transformación hasta el reciclado, p. ej., con la anunciada Ley Europea de Materias Primas Fundamentales.

3.5. Producción de hidrógeno renovable mediante electrolisis del agua

El hidrógeno renovable¹⁹³ encierra un gran potencial para contribuir a la consecución de los objetivos climáticos y energéticos de la UE. Puede utilizarse como combustible para sectores difíciles de electrificar (p. ej., el transporte pesado y de larga distancia); como materia prima química (p. ej., fertilizantes y otros productos químicos); y en procesos industriales (p. ej., producción de acero o cemento). Se prevé que el hidrógeno y sus derivados representen el

¹⁸⁸ NMC = níquel, manganeso y cobalto.

¹⁸⁹ Willuhn, M.: «National lithium-ion battery supply chains ranked» [«Clasificación de las cadenas nacionales de suministro de baterías de ion-litio», artículo en inglés], *PV Magazine*, 16 de septiembre de 2020.

¹⁹⁰ Datos de Comext de 2022.

¹⁹¹ Según los datos de producción de Prodcum 2021 correspondientes a la UE y los datos de la AIE sobre las ventas mundiales de vehículos eléctricos de 2021.

¹⁹² Perspectivas de los vehículos eléctricos 2022 de la AIE.

¹⁹³ La Comisión define el hidrógeno renovable como el hidrógeno que se produce mediante electricidad renovable o se obtiene a partir de biomasa que alcanza una reducción de las emisiones de CO₂ del 70 % (en comparación con los combustibles fósiles). La Comisión Europea ha establecido un umbral para el hidrógeno con bajas emisiones de carbono (o «hidrógeno hipocarbónico») en el paquete de medidas de descarbonización del gas y el hidrógeno, de 15 de diciembre de 2021 [COM(2021) 803 final].

12 % de la combinación energética mundial en 2050¹⁹⁴, pero actualmente el hidrógeno renovable basado en la electrolisis del agua asciende solo al 0,1 % de la producción total de la UE.

REPowerEU ha reforzado aún más los objetivos políticos de la estrategia del hidrógeno para 2020¹⁹⁵, fijando en 10 millones de toneladas de producción interior y 10 millones de toneladas de importaciones (en parte en forma de amoníaco) los objetivos de hidrógeno renovable y con bajas emisiones de carbono para 2030. La creación de un Banco Europeo del Hidrógeno acelerará la producción y el uso de hidrógeno renovable y ayudará a desarrollar las infraestructuras necesarias de manera coordinada¹⁹⁶.

La Comisión y los principales fabricantes de electrolizadores de la UE se comprometieron a multiplicar por diez la capacidad de fabricación hasta alcanzar los 17,5 GW en producción de hidrógeno de aquí a 2025¹⁹⁷. Además, los PRR de los Estados miembros asignan alrededor de 10 600 millones EUR a las tecnologías del hidrógeno y la Comisión aprobó dos PIICE en 2022 (julio y septiembre) con inversiones de 5 400 y 5 200 millones EUR, en los que participaron quince y trece Estados miembros, respectivamente.

Análisis tecnológico: De una capacidad mundial de 300 MW en 2020¹⁹⁸, Europa (incluidos el Reino Unido y los países de la AELC) representó 135 MW de capacidad instalada en 2021. Los electrolizadores de membrana de intercambio protónico (MIP) y los electrolizadores alcalinos suponen el 55 % y 44 % de la capacidad instalada desplegada en el territorio europeo, respectivamente (incluidos la AELC y el Reino Unido)¹⁹⁹.

El coste normalizado de la electricidad constituye el principal factor influyente en la viabilidad económica de las inversiones en electrolizadores y el aumento de los precios de la electricidad sigue siendo uno de los mayores retos para la viabilidad económica de una producción competitiva de hidrógeno electrolizador.

El coste de la producción europea de hidrógeno a partir de fuentes renovables variaba en 2020 desde una mediana de 6,8 EUR/kgH₂ (producción basada en energía solar fotovoltaica) hasta una mediana de 5,5 EUR/kgH₂ (producción basada en energía eólica)²⁰⁰. Se espera que los costes de los electrolizadores disminuyan debido a la electrolisis de alta temperatura: de 2 130 EUR/kW en 2020 a 520 EUR/kW en 2030. Los objetivos de costes de los electrolizadores de MIP y los electrolizadores alcalinos para 2030 se sitúan en 500 EUR/kW y 300 EUR/kW, respectivamente²⁰¹.

Análisis de la cadena de valor: La capacidad de fabricación de electrolizadores de agua en 2021 se ha estimado en 2,5 GW/año en Europa²⁰², mientras que la capacidad de fabricación mundial se estimó en unos 6-7 GW/año (tanto en el mercado europeo como en el mundial,

¹⁹⁴ IRENA: *Geopolítica de la transformación energética: el factor hidrógeno*, Abu Dabi, 2022.

¹⁹⁵ COM(2020) 301 final («Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra»).

¹⁹⁶ Tal como se anunció en el discurso sobre el estado de la Unión de 2022, de 14 de septiembre de 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/SPEECH_22_5493.

¹⁹⁷ Declaración conjunta de 5 de mayo de 2022, <https://ec.europa.eu/documents/50014/>.

¹⁹⁸ AEI: *Global Hydrogen Review* [«Análisis mundial del hidrógeno», documento en inglés], 2021.

¹⁹⁹ Hydrogen Europe: *Clean Hydrogen Monitor* [«Observatorio del hidrógeno limpio», documento en inglés], 2021.

²⁰⁰ Hydrogen Europe: *Clean Hydrogen Monitor* [«Observatorio del hidrógeno limpio», documento en inglés], 2021.

²⁰¹ Asociación para un Hidrógeno Limpio: *Strategic Research and Innovation Agenda 2021-2027* [«Agenda estratégica de investigación e innovación 2021-2027», documento en inglés].

²⁰² Declaración conjunta de la Cumbre Europea de Electrolizadores celebrada en Bruselas, el 5 de mayo de 2022.

alrededor de dos tercios corresponden a electrolizadores alcalinos y un tercio a electrolizadores de MIP)²⁰³.

Los volúmenes de fabricación en Europa son inferiores a los de China y los Estados Unidos. Se calcula que las empresas chinas poseen la mitad de la capacidad mundial de fabricación de electrolizadores alcalinos, y que las empresas estadounidenses ostentan la mayor parte de la fabricación mundial de electrolizadores de MIP. Europa es líder en número de empresas manufactureras y en electrolisis de óxido sólido, pero depende de países como China, Rusia y Sudáfrica para el suministro de las materias primas fundamentales necesarias, y solo puede abastecerse del 1-3 % de ellas a nivel interno²⁰⁴.

El consumo de agua (actualmente en torno a los 17 l/kgH₂) asociado al despliegue de una mayor producción de hidrógeno renovable aumentará la presión sobre los recursos de agua dulce, por lo que las nuevas ubicaciones de electrolizadores deben cumplir la Directiva marco sobre el agua²⁰⁵ a fin de evitar también los cuellos de botella relacionados con el agua en la producción.

Análisis del mercado mundial: Solo el 0,2 % de la demanda total anual europea de 8,4 millones de toneladas de hidrógeno (no renovable) se suministra a través del comercio internacional²⁰⁶. Aunque el comercio internacional de hidrógeno todavía no es una realidad, existen importantes oportunidades comerciales en el futuro suministro de hidrógeno renovable para la UE, tal como se indica en el plan REPowerEU.

En conclusión, sin mayores sistemas de montaje, más automatización y economías de escala, la UE no puede competir con China en tecnología alcalina.

En el contexto actual, los elevados precios de la electricidad y la dependencia de las importaciones de materias primas fundamentales concentradas en unos pocos proveedores constituyen deficiencias básicas de las cadenas de valor de los electrolizadores de la UE. Es necesario celebrar acuerdos de cooperación a largo plazo. También es preciso llevar a cabo una investigación específica sobre alternativas a los metales raros y otras materias primas fundamentales que actualmente se necesitan para la electrolisis del agua. Por otra parte, el éxito a largo plazo depende de un suministro de agua sostenible y de una capacidad de reciclado suficiente en la UE, además de un enfoque integral para atraer oferta y demanda. El apoyo de los marcos normativos y de financiación de la UE, así como las grandes inversiones a través de la financiación para la recuperación, los PIICE, la política de cohesión, Horizonte Europa, la Empresa Común para un Hidrógeno Limpio²⁰⁷ y el Fondo de Innovación resultan cruciales para la competitividad del sector del hidrógeno renovable de la UE.

²⁰³ BNEF, 2021. Cabe señalar que diferentes fuentes proporcionan estimaciones variables de la capacidad de producción anual.

²⁰⁴ Dolci, F. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Hydrogen Electrolysis – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La producción de hidrógeno mediante electrolisis. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC130683.

²⁰⁵ DO L 327 de 22.12.2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

²⁰⁶ Hydrogen Europe: *Clean Hydrogen Monitor* [«Observatorio del hidrógeno limpio», documento en inglés], 2021. La demanda anual de hidrógeno incluye a Islandia, Noruega, Suiza y el Reino Unido.

²⁰⁷ La Empresa Común para un Hidrógeno Limpio ha asignado 150,5 millones EUR, el programa Horizonte 2020 ha puesto a disposición 130 millones EUR, y el Fondo de Innovación ha apoyado cuatro proyectos con 240 millones EUR hasta mediados de 2022.

3.6. Combustibles renovables

Las tecnologías de combustibles renovables pueden contribuir en gran medida y a corto plazo a la descarbonización del transporte y a garantizar la seguridad del suministro energético y la diversificación de fuentes de energía. El plan REPowerEU²⁰⁸ señala, en particular, la importancia del biometano²⁰⁹ para diversificar los suministros de gas de la UE mediante el aumento de su producción al doble de la cifra prevista en el objetivo de la UE para 2030, lo que sitúa al biometano a la cabeza de las prioridades en materia de energías renovables.

Las propuestas legislativas del paquete de medidas «Objetivo 55»²¹⁰ introducirían una demanda significativa de energías renovables en el sector del transporte en 2030, muy por encima de los objetivos relativos a las cuotas de biocombustibles avanzados y combustibles renovables de origen no biológico que se establecen en la propuesta de modificación de la Directiva sobre fuentes de energía renovables (DFER II)²¹¹. Esto se debe al objetivo de reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) del 13 % en el transporte (que no es probable que se alcance con la mera electrificación) y a los objetivos más elevados de reducción de GEI del 40 % y del 61 % que establecen las propuestas por las que se modifican el Reglamento de reparto del esfuerzo²¹² y la Directiva sobre el comercio de derechos de emisión²¹³, respectivamente (si estos han de cumplirse con contribuciones similares del transporte). El plan REPowerEU propone aumentar aún más las cantidades de combustible renovable necesarias. A diferencia del transporte por carretera, cuya descarbonización se espera que dependa en gran medida de la electricidad y el hidrógeno²¹⁴, las propuestas «ReFuelEU Aviation» y «FuelEU Maritime» prevén que los combustibles renovables abastecerán el 5 % y el 6,5 % del consumo total de carburante para aviones y buques en los sectores aéreo y marítimo de la UE^{215, 216}.

Análisis tecnológico: Existen varias vías comerciales (p. ej., la biometanización o digestión anaerobia para obtener biometano, el aceite vegetal hidrogenado y la producción de etanol lignocelulósico), pero hay poca capacidad instalada (0,43 millones de toneladas/año) y la

²⁰⁸ COM(2022) 230 final («Plan REPowerEU»).

²⁰⁹ Sobre todo el producido a partir de desechos y residuos orgánicos, lo que da lugar a un biocombustible avanzado cuando se utiliza en el sector del transporte.

²¹⁰ COM(2021) 550 final (««Objetivo 55”: cumplimiento del objetivo climático de la UE para 2030 en el camino hacia la neutralidad climática»).

²¹¹ COM(2021) 557 final [«Propuesta por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables»].

²¹² COM(2021) 555 final [«Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/842 sobre reducciones anuales vinculantes de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los Estados miembros entre 2021 y 2030 que contribuyan a la acción por el clima, con objeto de cumplir los compromisos contraídos en el marco del Acuerdo de París»].

²¹³ COM(2021) 551 final [«Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo que modifica la Directiva 2003/87/CE por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión, la Decisión (UE) 2015/1814, relativa al establecimiento y funcionamiento de una reserva de estabilidad del mercado en el marco del régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión, y el Reglamento (UE) 2015/757»].

²¹⁴ Los principales motores políticos del sector son las normas sobre emisiones de CO₂ y el Reglamento sobre la infraestructura para los combustibles alternativos que se propone en marco del paquete de medidas «Objetivo 55».

²¹⁵ SWD(2021) 633 final (*Impact assessment accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport* [«Evaluación de impacto que acompaña a la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible», documento en inglés]).

²¹⁶ COM(2021) 562 final («Propuesta de Reglamento relativo al uso de combustibles renovables y combustibles hipocarbónicos en el transporte marítimo»).

producción prevista es limitada (1,85 millones de toneladas/año). En el entorno industrial se han demostrado diversas tecnologías innovadoras (p. ej., la gasificación de biomasa para obtener combustibles sintéticos mediante el proceso Fischer-Tropsch, los combustibles derivados de la pirólisis y la producción de biometanol) que están listas para su despegue, y también se han logrado avances significativos en varias tecnologías de próxima generación. La UE centra sus acciones en los biocombustibles avanzados, basados principalmente en desechos y residuos no reciclables, y limita su apoyo a los biocombustibles basados en alimentos y materias primas.

Las tecnologías relacionadas con otros combustibles sintéticos renovables (combustibles solares, combustibles microbianos de segunda generación y combustibles a partir de microalgas) aún se encuentran en su mayoría en fase de laboratorio. Incluso en el caso de los electrocombustibles, las tecnologías más avanzadas todavía no se comercializan a causa de los retos tecnológicos que siguen existiendo, los elevados costes actuales de la electrolisis, las grandes pérdidas de conversión (50 %) y los altos costes de transporte y distribución²¹⁷.

Análisis de la cadena de valor: El principal reto para la penetración de los biocombustibles avanzados en el mercado es su competitividad con los biocombustibles convencionales existentes derivados de cultivos alimentarios. El coste de los biocombustibles avanzados se estima entre 1,5 y 3 veces el precio de mercado de los biocombustibles tradicionales, como el biodiésel y el bioetanol (fijado entre 50 y 100 EUR/MWh). Los biocombustibles avanzados también conllevan elevadas inversiones en activo fijo (hasta 500 millones EUR para una sola planta) y dependen de la disponibilidad de materias primas de biomasa sostenibles. Existe un potencial significativo para reducir los costes de inversión en un 25-50 % y los costes de las materias primas en un 10-20 %, en particular a través de la I+i, el despliegue a gran escala y el cotratamiento en las plantas existentes.

En el período 2010-2021, la financiación privada de capital riesgo²¹⁸ para I+i sobre biocombustibles ascendió a una media de 250 millones EUR al año. Dominaron los Estados Unidos y Canadá (aunque con diferentes definiciones de biocombustibles), mientras que la cuota de la UE solo ha sido del 6 % en los últimos cinco años. No obstante, la UE está a la cabeza con el doble de patentes de alto valor que los Estados Unidos. China posee la mayor parte de las patentes de innovación y las solicitudes de patentes de la UE están aumentando en los Estados Unidos y China.

Análisis del mercado mundial: La UE representa aproximadamente el 7 % del mercado mundial de biocombustibles (es decir, unos 105 000 millones EUR en 2020), que se produce principalmente a partir de biodiésel de primera generación. El volumen de negocios alcanzó un máximo de 14 400 millones EUR en 2018²¹⁹, que se originó en su mayor parte en Francia,

²¹⁷ 50 % para los electrocombustibles. Se espera que los costes actuales de los electrocombustibles, que ascienden a 7 EUR/litro, disminuyan a 1-3 EUR/litro hasta 2050, debido a las economías de escala, los efectos del aprendizaje y la reducción prevista del precio de la electricidad renovable.

²¹⁸ Las inversiones privadas incluyen capital riesgo, inversiones providenciales y de lanzamiento, y subvenciones. El 57 % de la inversión desde 2010 se realizó en los Estados Unidos, el 28 % en Canadá y solo el 10 % en el conjunto de la UE (informe CETO 2022 del CCI sobre biocombustibles avanzados).

²¹⁹ El informe sobre los biocombustibles avanzados señala que Francia registró el mayor volumen de negocios en 2020 (algo más de 2 500 millones EUR), seguida de Alemania y España (con alrededor de 1 500 millones EUR cada uno) y de Hungría, Rumanía y Polonia (con algo menos de 1 000 millones EUR cada uno) (véase *Clean Energy Technology Observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: Los biocombustibles avanzados en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], JRC130727).

Alemania y España. Se crearon 250 000 puestos de trabajo directos e indirectos a lo largo de la cadena de valor en la UE. La UE alberga asimismo el 29 % de las empresas de innovación del mundo, mientras que los Estados Unidos y Japón son los que más tienen.

El sector de los biocombustibles avanzados apenas comienza a despuntar. El número de plantas comerciales sigue siendo bastante bajo y el comercio internacional es muy limitado. La UE es el líder mundial con diecinueve de las veinticuatro plantas comerciales de biocombustibles avanzados en funcionamiento, que se concentran principalmente en Suecia y Finlandia (que suman doce plantas)²²⁰.

Todos los biocombustibles pueden comercializarse a escala internacional. El comercio internacional de biocombustibles es inferior al de sus homólogos fósiles, y apenas existe en el caso de los biocombustibles avanzados. Las importaciones de biocombustibles de la UE han experimentado un aumento constante desde 2014. En 2021 tuvo un déficit comercial de biocombustibles de más de 2 000 millones EUR, y las importaciones procedían principalmente de Argentina, China y Malasia. Los Países Bajos y Alemania son los mayores productores de la UE y exportadores mundiales de biocombustibles.

En conclusión, aunque la capacidad de producción de combustibles renovables instalada y prevista para 2030 es mínima y el potencial de los biocombustibles avanzados a partir de materias primas sostenibles en la UE es limitado, este sector puede, no obstante, contribuir a la consecución de los objetivos de reducción de las emisiones de GEI del paquete de medidas «Objetivo 55» y cubrir suficientemente cualquier retraso en la electrificación del transporte. Aún deben superarse algunos riesgos técnicos y económicos para aprovechar plenamente el potencial de los combustibles renovables en el transporte. El coste de todos los combustibles renovables y, en particular, de los combustibles sintéticos, sigue siendo elevado porque dependen de los precios de las energías renovables y del hidrógeno. Sin embargo, los biocombustibles avanzados dependen de recursos locales sostenibles de biomasa y de cadenas de suministro cortas que crean un gran número de puestos de trabajo cualificados, reducen la pobreza energética e impulsan la competitividad industrial. La UE es el líder indiscutible del mercado en cuanto a plantas comerciales de biocombustibles avanzados en funcionamiento e innovaciones de alto valor. Las empresas de la UE se encuentran actualmente entre las diez primeras del mundo, pero corren el riesgo de perder su posición de liderazgo tecnológico por la falta de financiación privada. Así pues, además de la producción interior de energía, también debe tenerse en cuenta el potencial de exportación de las tecnologías europeas subyacentes.

3.7. Tecnologías inteligentes para la gestión de la energía

La formulación de políticas nacionales y de la UE ha reconocido claramente la importancia de las redes eléctricas inteligentes en los últimos años. La Estrategia de la UE para la Integración del Sistema Energético de 2020²²¹ reconoció la importancia de las redes inteligentes para alcanzar los objetivos de la política energética y climática de la UE. El

²²⁰ Suecia tiene ocho plantas, Finlandia cuatro, España e Italia dos cada una, y Francia y los Países Bajos tienen una. Fuera de la UE, hay dos plantas en los Estados Unidos, y China, Indonesia, Japón y Noruega tienen una cada uno (informe CETO 2022 del CCI sobre biocombustibles avanzados).

²²¹ COM(2020) 299 final («Impulsar una economía climáticamente neutra: Una Estrategia de la UE para la Integración del Sistema Energético»).

Reglamento sobre las infraestructuras energéticas transeuropeas modificado en 2022²²² hace referencia al establecimiento de redes eléctricas inteligentes como área temática prioritaria²²³. En sus planes de recuperación y resiliencia (PRR), los Estados miembros reconocieron el potencial de las soluciones digitales para mejorar la inteligencia de las redes eléctricas²²⁴. La electrificación y la inteligencia de la red están avanzando, pero es preciso hacer más para reforzar la infraestructura eléctrica con vistas a aplicar el plan REPowerEU. Entre los retos que se plantean figuran la reducción, la puesta en común de datos entre los distintos agentes, la flexibilidad, la interoperabilidad y la madurez tecnológica. El plan de acción de la UE para digitalizar el sistema energético²²⁵ presenta una serie de medidas para superar estos obstáculos.

Dado el gran número y la amplia gama de tecnologías energéticas inteligentes, la presente sección se centra en presentar una evaluación de los avances tecnológicos y del mercado pertinentes para solo tres tecnologías clave: i) infraestructura de medición avanzada; ii) sistemas de gestión de la energía doméstica; y iii) recarga inteligente de vehículos eléctricos.

i) Infraestructura de medición avanzada (IMA)

Los sistemas de IMA²²⁶ ofrecen muchas ventajas tanto a los proveedores de servicios energéticos como a los consumidores, entre ellas la reducción de las facturas de electricidad gracias a una mejor gestión del consumo; una mejor observabilidad de la red y, por tanto, una mejor gestión de las interrupciones de servicio; la reducción de los costes de actualización de la red gracias a una mejor gestión de los picos de electricidad; y un mejor control de los clientes mediante el uso de una infraestructura del cliente avanzada (es decir, aplicaciones inteligentes y portales web)²²⁷.

El despliegue de sistemas de medición inteligentes está avanzando en la UE, aunque debe acelerarse aún más. En 2020, solo el 43 % de los consumidores disponía de un contador eléctrico inteligente (lo que corresponde a unos 123 millones de unidades en la UE y el Reino Unido)²²⁸. Las funcionalidades que ofrece la IMA varían de un lugar a otro: en la mayoría de

²²² DO L 152 de 3.6.2022. Reglamento (UE) 2022/869 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2022, relativo a las orientaciones sobre las infraestructuras energéticas transeuropeas y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 715/2009, (UE) 2019/942 y (UE) 2019/943 y las Directivas 2009/73/CE y (UE) 2019/944 y se deroga el Reglamento (UE) n.º 347/2013.

²²³ El Reglamento exige que los proyectos de redes inteligentes contribuyan, como mínimo, a dos de los siguientes criterios específicos: i) la seguridad del suministro; ii) la integración de los mercados; iii) la seguridad de la red, flexibilidad y calidad del suministro; y iv) la integración sectorial inteligente.

²²⁴ Comisión Europea: *Recovery and Resilience Scoreboard. Thematic Analysis: Digital public services* [«Cuadro de indicadores de recuperación y resiliencia. Análisis temático: los servicios públicos digitales], diciembre de 2021.

²²⁵ COM(2022) 552 final («Digitalizar el sistema energético: plan de acción de la UE»).

²²⁶ Los sistemas de IMA constan de diferentes componentes. Los contadores inteligentes constituyen la pieza central y se complementan con redes de comunicación y sistemas de gestión de datos.

²²⁷ *Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems: Results from the Smart Grid Investment Grant Program* [«Infraestructura de medición avanzada y sistemas de cliente: resultados del programa de ayuda a la inversión en redes inteligentes», documento en inglés], Oficina de Suministro de Electricidad y Fiabilidad Energética, Departamento de Energía de los Estados Unidos.

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf

²²⁸ Estonia, España, Italia, Finlandia y Suecia: 90 %; Dinamarca, Francia, Luxemburgo, Malta, Países Bajos y Eslovenia: 70-90 % Letonia y Portugal: 50-70 % Grecia, Austria y Reino Unido: 20-50 % (Vitiello, S.; Andreadou, N.; Ardelean, M., y Fulli, G.: «Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the European Green Deal» [«Despliegue de la medición inteligente en Europa: ¿En qué punto estamos? Análisis coste-beneficio en el marco del paquete de medidas sobre energía limpia y tendencias de la

los países, proporcionan información detallada a través de la interfaz del contador acerca de los datos de consumo (p. ej., nivel, fecha y hora de consumo) o información sobre los datos de consumo acumulado.

Aprovechar todo el potencial de la IMA requerirá una mayor integración en los sistemas de gestión de la energía doméstica y los aparatos inteligentes (incluida la recarga inteligente de vehículos eléctricos), así como en los nuevos servicios energéticos.

ii) Sistemas de gestión de la energía doméstica

Del creciente despliegue de aparatos inteligentes²²⁹ se desprende que los sistemas de gestión de la energía doméstica deben convertirse en el centro de agregación, optimización y externalización de datos a terceros (p. ej., mediadores del mercado eléctrico y prestadores de servicios). La Comisión está en proceso de elaborar un código de conducta para los fabricantes de aparatos energéticos inteligentes, que definirá los requisitos de interoperabilidad y los principios que han de regir el intercambio de datos entre aparatos; sistemas de automatización de viviendas y edificios; cargadores de vehículos eléctricos; agregadores independientes; y gestores de red de distribución²³⁰.

Las actuales soluciones de gestión de la energía doméstica van desde las aplicaciones de control energético a disposición directa del cliente hasta las plataformas de *software* de marca blanca para clientes de empresas de servicios públicos, que posteriormente pueden extenderse a los usuarios finales. Además de las empresas «tradicionales» con trayectoria en energía o electrónica²³¹, las grandes empresas de software como Google, Apple y Cisco distribuyen ahora productos de gestión de la energía doméstica²³². Esta tendencia pone de relieve el papel cada vez más importante de la ingeniería de *software* en los dispositivos del internet de las cosas (IdC).

Se espera que la demanda de sistemas de gestión de la energía doméstica aumente significativamente en los próximos años. Por ejemplo, se espera que el mercado alemán, que es el mayor mercado nacional de estos sistemas en la UE, crezca hasta casi 460 millones USD (544 millones EUR²³³) de aquí a 2027, y el mercado francés podría tener una tasa de crecimiento anual compuesto del 20,3 % entre 2021 y 2027²³⁴. Esto refleja las tendencias mundiales. El valor del mercado mundial de sistemas de gestión de la energía

investigación en el Pacto Verde Europeo», artículo en inglés], *Energies*, vol. 15, p. 2340, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15072340>.

²²⁹ Los ejemplos incluyen termostatos inteligentes, enchufes inteligentes, iluminación inteligente y aparatos de energía distribuida como la energía solar fotovoltaica y los vehículos eléctricos.

²³⁰ [Support on the development of policy proposals for energy smart appliances | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability \(europa.eu\)](#) [«Apoyo a la formulación de propuestas políticas sobre los aparatos energéticos inteligentes», artículo en inglés publicado en el sitio web sobre sistemas eléctricos inteligentes e interoperabilidad del CCI].

²³¹ P. ej., Fortum (FI), ENEL X (IT), Bosch (DE), NIBE (SE) y Schneider Electric (FR). Los proveedores de sistemas de gestión de la energía doméstica se presentaron detalladamente en el documento de trabajo de los servicios de la Comisión que acompaña a su informe de 2021 sobre competitividad [[SWD\(2021\) 307 final](#), documento en inglés].

²³² La aplicación Google Home, el asistente Siri de Apple y el servicio de gestión energética de Cisco son ejemplos de servicios de gestión de la energía doméstica.

²³³ En este párrafo se utiliza un tipo de cambio medio de 1,1827 EUR por 1 USD durante el año 2021 (https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html).

²³⁴ Delta-EE, <https://www.delta-ee.com/research-services/home-energy-management/>.

doméstica se estimó en 2 100 millones USD en 2021 (2 500 millones EUR²³⁵), y podría aumentar a 6 000 millones USD (7 000 millones EUR²³⁶) de aquí a 2027 (con una tasa de crecimiento anual compuesto del 16,5 % durante el período 2022-2027)²³⁷. De momento, sin embargo, no ha quedado claro si estos sistemas de gestión solo ayudarán a los consumidores a optimizar su consumo y comodidad o si también permitirán la respuesta a la demanda y la flexibilidad a escala.

iii) Recarga inteligente de vehículos eléctricos

La recarga inteligente de vehículos eléctricos resultará fundamental para maximizar las sinergias entre los vehículos eléctricos, la generación de energías renovables y los servicios de red. Habida cuenta del ritmo de despliegue de los vehículos eléctricos, no se espera que los vehículos eléctricos provoquen una crisis de demanda de electricidad a corto o medio plazo²³⁸, pero podrían remodelar la curva de carga²³⁹. El impacto de la recarga inteligente de vehículos eléctricos puede ser mayor en las regiones y localidades que combinen una elevada concentración de vehículos eléctricos con una infraestructura de red menos sólida. Las técnicas inteligentes de recarga de vehículos eléctricos pueden proporcionar servicios de balance de red y reducir la restricción de las energías renovables, de modo que disminuya la necesidad de mejoras de la red.

La recarga inteligente abarca una gama de precios y opciones técnicas de recarga, y adopta tres formas: recarga unidireccional del vehículo a la red (V1G), recarga bidireccional del vehículo a la red (V2G) y recarga del vehículo al hogar o edificio (V2H-B). Entre los principales agentes del mercado de la recarga inteligente de vehículos eléctricos figuran ABB (Suecia/Suiza), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Alemania), Schneider Electric (Francia), GreenFlux y Alfen N.V. (Países Bajos), Virta (Finlandia), Driivz y Tesla (Estados Unidos).

²³⁵ En este párrafo se utiliza un tipo de cambio medio de 1,1827 EUR por 1 USD durante el año 2021 (https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html).

²³⁶ En este párrafo se utiliza un tipo de cambio medio de 1,1827 EUR por 1 USD durante el año 2021 (https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html).

²³⁷ Grupo IMARC: *Home Energy Management Systems Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022-2027* [«El mercado de los sistemas de gestión de la energía doméstica: tendencias industriales a escala mundial, cuotas, dimensión, crecimiento, oportunidades y pronósticos 2022-2027», documento en inglés], <https://www.imarcgroup.com/home-energy-management-systems-market?msclkid=5440b237b02f11ecae445030f049ab37>.

²³⁸ De las simulaciones de la red de distribución en Alemania se desprende que los requisitos de mejora de la red son bastante bajos hasta que los vehículos eléctricos alcancen alrededor del 20 % del parque total de vehículos (Vertgewart, C.M. y otros: *Modelling of Location and Time Dependent Charging Profiles of Electric Vehicles Based on Historical User Behaviour* [«Modelado de perfiles de recarga de vehículos eléctricos en función de la ubicación y de la hora con arreglo al comportamiento histórico de los usuarios», documento en inglés], CIREN 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution [26.ª Conferencia y Exposición Internacional sobre Distribución de Electricidad], 2021).

²³⁹ McKinsey&Company, McKinsey Center for Future Mobility [Centro McKinsey para la Movilidad Futura]: *The potential impact of electric vehicles on global energy systems* [«El impacto potencial de los vehículos eléctricos en los sistemas energéticos mundiales», documento en inglés], 2018.

El mercado mundial de recarga inteligente de vehículos eléctricos está despegando claramente, con un valor estimado de 1 520 millones USD (1 770 millones EUR²⁴⁰) en 2020 y una tasa de crecimiento anual compuesto del 32,42 % entre 2021 y 2031²⁴¹. Sin embargo, a diferencia de las soluciones V1G más maduras, las tecnologías V2G y V2H-B aún no han alcanzado la fase de comercialización generalizada, aunque el número de proyectos piloto y demostraciones va en aumento.

El despliegue de una infraestructura de recarga inteligente a escala planteará dos retos: en primer lugar, deberá consolidarse la normalización de las interfaces de comunicación entre los puntos de recarga, los vehículos eléctricos y la red de distribución; en segundo lugar, deberá satisfacerse una creciente demanda de materias primas²⁴².

Se espera que los sistemas de IMA, de gestión de la energía doméstica y de recarga inteligente de vehículos eléctricos sigan evolucionando. El despliegue de los sistemas de IMA ha sido más lento de lo previsto inicialmente. Con el fin de aprovechar al máximo las oportunidades que ofrecen estos sistemas, es preciso integrarlos mejor en los sistemas de gestión de la energía doméstica y los aparatos inteligentes. La presencia cada vez mayor de aparatos inteligentes debería conducir a un aumento significativo de la demanda de sistemas de gestión de la energía doméstica. Por su parte, el mercado mundial de la recarga inteligente de vehículos eléctricos también debe despegar, pero habrá que superar los retos existentes.

3.8. Principales conclusiones sobre otras tecnologías energéticas limpias

Las secciones anteriores se centran en las tecnologías y soluciones energéticas limpias analizadas en 2021²⁴³. Las otras soluciones principales de energía limpia que se presentan en esta sección se abordan en los informes del CETO adjuntos²⁴⁴. Estas tecnologías se encuentran en diferentes fases de desarrollo y evolucionan en contextos diversos, por lo que cada una se enfrenta a una determinada serie de desafíos y oportunidades en materia de competitividad.

La energía hidroeléctrica²⁴⁵, por ejemplo, se ha desplegado de forma sustancial en toda la UE. La capacidad instalada fue de 151 GW en 2021, lo que supone un aumento de 6 GW con respecto a 2011 y corresponde aproximadamente al 12 % de la generación neta de electricidad de la UE. Los 44 GW de energía hidroeléctrica por bombeo de la UE representan casi el total de la capacidad de almacenamiento de electricidad de la UE y garantizan la

²⁴⁰ En este párrafo se utiliza un tipo de cambio medio de 1,1827 EUR por 1 USD durante el año 2021 (https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html).

²⁴¹ Transparency Market Research: *Smart EV Charger Market 2021-2031* [«Mercado de los cargadores inteligentes de vehículos eléctricos 2021-2031», documento en inglés], 2021.

²⁴² En la fabricación de los componentes fundamentales de las estaciones de recarga de vehículos eléctricos (cerramientos, cables, conectores, aislamiento y cubierta de cables, y tubos flexibles) se utilizan materias primas como el acero inoxidable, el cobre, el aluminio, los policarbonatos, los elastómeros y los poliuretanos termoplásticos. El silicio y el germanio constituyen materias primas fundamentales para la fabricación de placas y circuitos electrónicos.

²⁴³ COM(2021) 952 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

²⁴⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

²⁴⁵ Quaranta, E. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La energía hidroeléctrica y el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC130587.

flexibilidad de la red eléctrica y la capacidad de almacenamiento de agua. Con el envejecimiento de la flota, cada vez va adquiriendo más importancia la renovación sostenible de la capacidad hidroeléctrica existente, así como la oportunidad de hacer que la flota hidroeléctrica sea más resiliente ante los cambios climáticos y del mercado. La UE se encuentra a la cabeza en I+i, pues cuenta con el 33 % de todas las invenciones de alto valor a escala mundial (2017-2019) y alberga al 28 % de todas las empresas innovadoras. En un mercado en expansión a escala mundial, también reunía el 50 % de todas las exportaciones mundiales de energía hidroeléctrica, por un valor de 1 000 millones EUR en 2019-2021. No obstante, para poder aprovechar al máximo su potencial, la UE tendrá que superar los retos relacionados con la aceptación social y el impacto ambiental de las nuevas instalaciones y embalses. Los efectos del cambio climático también inciden de diversas formas en la energía hidroeléctrica europea, y los embalses hidroeléctricos pueden contribuir a mitigar algunos de estos efectos. Es indispensable reconocer las ventajas adicionales (aparte de la generación de energía) que ofrecen los embalses hidráulicos polivalentes e incentivar medidas y tecnologías hidroeléctricas más sostenibles (es decir, con menor impacto).

Se está produciendo un creciente despliegue de la **energía oceánica**²⁴⁶. A largo plazo, teniendo en cuenta el potencial de recursos, la energía oceánica puede satisfacer hasta el 10 % de las necesidades energéticas de la UE. La estrategia de la UE sobre energía renovable marina de 2020²⁴⁷ propuso metas específicas de capacidad para la energía oceánica con el objetivo a largo plazo de lograr, como mínimo, 40 GW de aquí a 2050. Las empresas de la UE lideran el sector de la energía oceánica y la mayoría de las empresas se encuentran alojadas en los países de la UE. El despliegue está aumentando en cuanto a capacidad instalada tanto dentro como fuera de la UE. Los dispositivos individuales ya contribuyen a la red durante períodos de tiempo más largos²⁴⁸. Sin embargo, es necesario seguir reduciendo los costes y garantizar la sostenibilidad para que las tecnologías de energía undimotriz y mareomotriz se consoliden en el mercado de la electricidad y sean competitivas con otras fuentes de energía renovables. Con el fin de permitir su despliegue a gran escala, también es preciso destinar más financiación a ensayos y a la asimilación por el mercado.

La energía geotérmica²⁴⁹ ha experimentado un crecimiento tanto en centrales eléctricas como en calefacción y refrigeración urbanas, aunque a un ritmo lento en comparación con otras tecnologías energéticas limpias. En 2021 se pusieron en servicio en Alemania dos nuevas centrales geotérmicas, con una capacidad de 1 MWe y 5 MWe²⁵⁰, lo que elevó la capacidad total de la UE a 0,877 GWe, mientras que la capacidad total instalada a nivel mundial era de unos 14,4 GWe. Ese año, la capacidad total instalada de calefacción y

²⁴⁶ Que comprende las tecnologías undimotriz, mareomotriz, osmótica (o de energía azul) y mareomotérmica.

²⁴⁷ COM(2020) 741 final («Una estrategia de la UE para aprovechar el potencial de la energía renovable marina para un futuro climáticamente neutro»).

²⁴⁸ La fase 1A del proyecto de energía mareomotriz MeyGen (UK) lleva en funcionamiento desde abril de 2018, la central undimotriz de Mutriku (ES) desde julio de 2011 y el parque mareomotriz de las islas Shetland desde 2016.

²⁴⁹ Bruhn, D. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Deep Geothermal Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La energía geotérmica profunda en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC130585.

²⁵⁰ Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC, por sus siglas en inglés): *2021 EGEC Geothermal Market Report* [«Informe del EGEC sobre el mercado geotérmico 2021», documento en inglés].

refrigeración geotérmicas urbanas alcanzó los 2,2 GWth en la UE, con más de 262 sistemas. El mayor crecimiento se está registrando en Francia, los Países Bajos y Polonia. Los sistemas geotérmicos mejorados siguen enfrentándose a diversos retos en materia de innovación que requerirán una mayor I+i. La reducción del riesgo de invertir en proyectos de energía geotérmica es crucial para aprovechar el enorme potencial que encierra este tipo de energía. En la UE, los principales desafíos tienen que ver con la rentabilidad y el comportamiento medioambiental.

La energía solar termoeléctrica de concentración²⁵¹ puede contribuir en gran medida a la generación de electricidad en lugares con alta insolación directa, pero hasta ahora solo se ha aprovechado una pequeña porción de su potencial. En 2021, la capacidad instalada en todo el mundo era de aproximadamente 6,5 GW, 2,4 GW de los cuales estaban instalados en la UE. También existe un gran mercado de la UE relacionado con el calor de procesos industriales, que puede ser aprovechado en parte por los sistemas de energía solar térmica de concentración. El estudio de este potencial para producir electricidad y calor industrial con medidas de apoyo financieras y de otro tipo permitiría a la UE afrontar mejor la competencia internacional. Esto reviste especial importancia ante el despunte de las organizaciones chinas como promotoras de proyectos internacionales de energía solar de concentración, un ámbito que tradicionalmente han liderado las empresas de la UE. La energía solar de concentración ha registrado importantes avances en cuanto a reducción de costes y a su consolidación como opción fiable. Las organizaciones europeas desempeñan un papel destacado en materia de investigación y desarrollo tecnológico. Los investigadores de la UE son los que más trabajos científicos publican y los principales autores de patentes de alto valor que aumentan la eficiencia y reducen los costes, tal como se establece en el plan de implantación de la energía solar de concentración incluido en el Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE)²⁵². En este sentido, la I+i desempeñará un papel decisivo y se seguirá prestando apoyo concreto a escala de la UE, tal como se anunció en la nueva Estrategia de Energía Solar de la UE.

El progreso de la **captura, almacenamiento y utilización de carbono (CAUC)** se ha acelerado en los últimos años, pero el número de instalaciones en funcionamiento en la UE sigue siendo reducido. Francia, Alemania y los Países Bajos encabezan la inversión pública y privada en I+i y cuentan con las principales empresas en materia de patentes. Aún persisten algunos obstáculos al desarrollo de la CAUC, principalmente en lo referente a la aplicación de la normativa²⁵³, economía, riesgos e incertidumbres, y aceptación pública. Se han seleccionado once grandes proyectos de captura y almacenamiento de carbono y captura y utilización de carbono para recibir apoyo de la UE con cargo al Fondo de Innovación.

La bioenergía²⁵⁴ representa actualmente casi el 60 %²⁵⁵ del suministro de energías renovables en la UE. La bioenergía sigue siendo importante para la transición de los sectores

²⁵¹ Taylor, N. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Concentrated Solar Power and Heat in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: La energía solar termoeléctrica de concentración en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, doi: 10.2760/080204, JRC130811.

²⁵² https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste_en.

²⁵³ Por ejemplo, la ratificación del Protocolo de Londres.

²⁵⁴ Motola, V. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Bioenergy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias:

energéticos de varios Estados miembros, pues contribuye a descarbonizar la economía al tiempo que aumenta la seguridad y la diversificación energéticas. El incremento previsto de la biomasa significa que es importante que la UE garantice que la bioenergía se obtenga y utilice de manera sostenible, y que se eviten los efectos negativos sobre la biodiversidad y los sumideros y reservas de carbono. La propuesta de modificación de la Directiva sobre fuentes de energía renovables incluye criterios de sostenibilidad más estrictos para la bioenergía e introduce el requisito de que los Estados miembros apliquen el principio de uso en cascada en sus sistemas de apoyo financiero. En particular, el biometano producido de manera sostenible a partir de desechos y residuos orgánicos puede contribuir a la consecución del objetivo de REPowerEU de reducir la dependencia de la UE de los combustibles fósiles importados. La obligación de recoger por separado los residuos orgánicos de aquí a 2024 representa una gran oportunidad para la producción sostenible de biogás en los próximos años. La bioenergía proporciona una generación de electricidad flexible que equilibra la red eléctrica, y desempeña un papel fundamental a la hora de permitir cuotas elevadas de energías renovables variables, como la eólica y la solar, en las redes eléctricas.

La **energía nuclear**, con 103 reactores de potencia (101 GWe) en la UE en 2022, genera alrededor de una cuarta parte de la electricidad de la UE y proporciona cerca del 40 % de la electricidad de la UE con bajas emisiones de carbono²⁵⁶. La energía nuclear se incluye, junto a las energías renovables, en el plan estratégico a largo plazo de la UE para una economía climáticamente neutra de aquí a 2050. El plan REPowerEU reconoce, además, la importancia del hidrógeno de origen nuclear dentro de la producción de hidrógeno no fósil para la sustitución del gas natural. La posible contribución de la energía nuclear a la futura combinación energética con bajas emisiones de carbono depende de la investigación y la innovación, orientadas a tecnologías nucleares cada vez más seguras y limpias (tanto convencionales como avanzadas). Varias empresas de servicio público y organismos de investigación de, al menos, siete Estados miembros de la UE han mostrado interés por los nuevos reactores nucleares modulares más pequeños²⁵⁷ (SMR, por sus siglas en inglés) en relación con la producción descarbonizada de electricidad y otros tipos de energía, como la calefacción industrial y urbana y la producción de hidrógeno. Los agentes industriales y estatales interesados de la UE están impulsando un proceso hacia un modelo industrial europeo para el despliegue de estos reactores a principios de la década de 2030.

4. CONCLUSIÓN

El rápido desarrollo y despliegue de tecnologías energéticas limpias autóctonas en la UE resulta fundamental para dar una respuesta rentable, respetuosa con el clima y socialmente justa a la actual crisis energética.

La bioenergía en la Unión Europea. Informe de situación de 2022 sobre desarrollo tecnológico, tendencias, cadenas de valor y mercados», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC130730.

²⁵⁵ Esta cifra incluye los biocombustibles, que representan en torno al 7 %.

²⁵⁶ Asociación Nuclear Mundial: *Nuclear Power in the European Union* [«La energía nuclear en la Unión Europea», documento en inglés], cuadro «EU nuclear power» [«energía nuclear en la UE»], sitio web visitado el 14 de octubre de 2022.

²⁵⁷ Comisión Europea: *Small Modular Reactors and Medical Applications of Nuclear Technologies* [«Reactores modulares pequeños y aplicaciones médicas de las tecnologías nucleares», documento en inglés], Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022.

Ante el aumento sin precedentes de los precios de la energía, la UE ha presentado con rapidez un conjunto de medidas que **protegerán a los consumidores y las empresas**, incluidos los hogares vulnerables y los agentes del sector de las tecnologías energéticas limpias, al tiempo que garantizarán la consecución de los objetivos en materia de clima y energía para 2030 y 2050.

Paralelamente, la UE debe proseguir sus esfuerzos para **reducir su dependencia de las materias primas y diversificar eficazmente su abastecimiento de estas**, ya que el aumento de sus precios afecta gravemente a la competitividad de las tecnologías energéticas limpias. La anunciada Ley Europea de Materias Primas Fundamentales²⁵⁸ tiene por objeto contribuir a alcanzar estas ambiciones. La UE también necesita **intensificar la cooperación internacional y superar la escasez de mano de obra cualificada** en diversos segmentos del sector de las tecnologías energéticas limpias, garantizando al mismo tiempo un entorno igualitario y equilibrado desde el punto de vista del género. La propuesta de hacer de 2023 el Año Europeo de las Competencias representa un paso hacia el aumento de los trabajadores cualificados.

Reviste suma importancia realizar **más inversiones públicas y privadas en investigación e innovación sobre energías limpias, así como en su expansión y despliegue asequible**. Los marcos normativos y financieros de la UE desempeñan un papel crucial a este respecto. Junto con la aplicación de la Nueva Agenda Europea de Innovación, los programas de financiación de la UE, la **cooperación reforzada** entre los Estados miembros y un continuo **seguimiento de las actividades nacionales de I+i** son fundamentales para diseñar un ecosistema impactante en materia de I+i en la UE y salvar la brecha entre la fase de investigación e innovación y la aceptación por el mercado, consolidando así la competitividad de la UE.

El presente informe confirma²⁵⁹ que **la UE se ha mantenido a la vanguardia de la investigación sobre energías limpias** y que la inversión en I+i va en constante aumento (aunque por debajo de los niveles anteriores a la crisis financiera). A escala mundial, la UE conserva su liderazgo en invenciones «verdes» y patentes de alto valor y es el principal solicitante mundial de patentes en los ámbitos de clima y medio ambiente (23 %), energía (22 %) y transporte (28 %). La cuota mundial de publicaciones científicas de la UE ha disminuido, pero los científicos de la UE colaboran y publican a escala internacional sobre temas relacionados con las energías limpias a un ritmo muy superior a la media mundial. Además, la UE presenta un mayor nivel de colaboración público-privada.

El volumen de negocios y el valor añadido bruto del sector de las energías renovables de la UE han seguido creciendo desde 2019, y la producción de la UE de la mayoría de las tecnologías y soluciones energéticas limpias mostró la misma tendencia en 2021. Aunque la UE ha mantenido una balanza comercial positiva en una serie de tecnologías, como la eólica, en otras, como las bombas de calor, los biocombustibles y la energía solar fotovoltaica, ha aumentado su déficit comercial. Esta tendencia general se debe, en parte, a la creciente demanda de estas tecnologías en la UE.

²⁵⁸ Tal como anunció la presidenta de la Comisión Europea en su discurso sobre el estado de la Unión de 14 de septiembre de 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ov/SPEECH_22_5493.

²⁵⁹ Como en la edición anterior: COM(2021) 952 final y SWD(2021) 307 final («Avances en la competitividad de las tecnologías energéticas limpias»).

En cuanto a las tecnologías energéticas limpias concretas, el informe señala que el **sector eólico** de la UE sigue estando a la cabeza mundial en I+i y patentes de alto valor en 2022, y mantiene una balanza comercial positiva. Sin embargo, la competencia continúa siendo feroz, y la industria eólica tendrá que superar el actual contexto desfavorable debido también a la creciente demanda mundial de elementos de tierras raras y a las perturbaciones de la cadena de suministro. El sector tendrá que duplicar su capacidad de instalación anual actual para alcanzar los objetivos de REPowerEU. La UE ha confirmado asimismo en 2022 su posición como uno de los mayores mercados de **energía fotovoltaica** y como gran innovadora, sobre todo en tecnologías fotovoltaicas emergentes. Desde la perspectiva de la cadena de valor, la UE permanece a la zaga de Asia, con una fuerte dependencia de varios componentes cruciales. Las soluciones innovadoras y los continuos avances tecnológicos ofrecen oportunidades adicionales de despliegue en la UE.

La UE se encuentra en una encrucijada con varias tecnologías, en las que aún deben superarse una serie de retos para poder sacarles el máximo partido. El sector de las **bombas de calor** tendrá que acelerar su despliegue, ya de por sí en rápido crecimiento, y garantizar la asequibilidad de los sistemas (sobre todo para los hogares de bajos ingresos y las pymes), y los proveedores de la UE tendrán que aumentar su producción a fin de mantener su cuota de mercado en comparación con terceros países. Por lo que se refiere a la **producción de baterías**, la UE está en vías de lograr casi la autosuficiencia de aquí a 2030, pero la falta de capacidad de producción propia de materiales avanzados y materias primas sigue planteando problemas. Hay que prestar más atención al aumento de la capacidad de reciclado y a la creación de capacidad tecnológica en tipos de almacenamiento más baratos y a más largo plazo. En lo concerniente a la **producción de hidrógeno mediante electrolisis**, la UE se beneficia de su sólido enfoque integral para atraer oferta y demanda. La posición de la UE en la cadena de valor depende del tipo de tecnología (p. ej., encabeza la electrolisis de óxido sólido, pero no compete en tecnología alcalina). Las subidas de los precios de la electricidad y la dependencia de materias primas fundamentales son algunos de los principales desafíos que se plantean a este respecto. La UE es el líder indiscutible del mercado en cuanto a plantas comerciales de **combustibles renovables** en funcionamiento e innovaciones de alto valor. Aunque la producción instalada y prevista para 2030 es limitada, los combustibles renovables pueden contribuir a la consecución de todos los objetivos de reducción de emisiones del paquete de medidas «Objetivo 55», si se abordan determinados riesgos técnicos y económicos. La innovación en la **infraestructura energética digital** de la UE será clave para garantizar que la red eléctrica esté preparada para el futuro sistema energético. La demanda de sistemas de gestión de la energía doméstica y de recarga inteligente de vehículos eléctricos está despegando y se espera que vaya en aumento, mientras que el despliegue de un sistema de medición inteligente sigue avanzando en la UE (aunque a un ritmo más lento de lo previsto).

En general, a pesar de las prometedoras tendencias positivas observadas en el ecosistema de innovación de la UE, es necesario seguir trabajando para abordar los obstáculos estructurales y los retos sociales que frenan a las empresas de tecnología climática emergentes y en expansión con sede en la UE más que en otras grandes economías. A fin de aprovechar su potencial para convertirse en líder mundial en los ámbitos de tecnología climática y tecnología profunda, la UE debe sacar partido a sus diversos talentos, activos intelectuales y capacidades industriales, y conseguir que los inversores privados participen más activamente en la financiación de las empresas emergentes de tecnología y tecnología climática profunda.

La Comisión seguirá supervisando los avances del sector de las energías limpias y seguirá desarrollando su metodología y la recopilación de datos en cooperación con los Estados miembros y las partes interesadas. En este contexto, la Comisión actualizará su metodología basada en datos contrastados de cara a futuras ediciones del informe de situación en materia de competitividad. Esto servirá de base para las decisiones políticas y contribuirá a que la UE sea competitiva, eficiente en el uso de los recursos, resiliente, independiente y climáticamente neutra de aquí a 2050.

ANEXO I: MARCO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD DE LA UE²⁶⁰

Parte 1: Competitividad general del sector de las energías limpias de la UE	Parte 2: Tecnologías y soluciones energéticas limpias		
Análisis macroeconómico (agregado, por Estado miembro y por tecnología limpia)	1. Análisis de tecnologías: situación actual y perspectivas	2. Análisis de la cadena de valor del sector de la tecnología energética	3. Análisis del mercado mundial
<p>Evolución reciente</p> <ul style="list-style-type: none"> - precios y costes de la energía: tendencias recientes - retos relacionados con la sostenibilidad y circularidad de las tecnologías energéticas limpias; dependencia de materias primas (fundamentales) del sector de las energías limpias de la UE y repercusión en la competitividad de la UE - impacto de la COVID-19 y recuperación capital humano y capacidades 	<p>Capacidad instalada, generación/producción (en la actualidad y en 2050)</p>	<p>Volumen de negocios</p>	<p>Comercio (importaciones, exportaciones)</p>
<p>Tendencias en materia de investigación e innovación</p> <ul style="list-style-type: none"> - inversiones públicas y privadas en I+i - registro de patentes y patentes de alto valor en la UE y por Estado miembro 	<p>Coste / coste normalizado de la electricidad²⁶¹ (en la actualidad y en 2050)</p>	<p>Crecimiento del valor añadido bruto Anual, cambio en porcentaje</p>	<p>Líderes del mercado mundial frente a líderes del mercado de la UE (cuota de mercado)</p>
<p>Panorama competitivo mundial en el ámbito de las energías limpias</p>	<p>Financiación pública de I+i (Estados miembros y UE)</p>	<p>Número de empresas en la cadena de suministro, incluidos líderes del mercado de la UE</p>	<p>Eficiencia y dependencia de los recursos²⁶²</p>
<p>Panorama de la financiación de la innovación en la UE (en comparación con las principales economías)</p>	<p>Financiación privada de I+i</p>	<p>Empleo en el segmento de la cadena de valor</p>	
<p>El papel del cambio sistémico en el sector de las energías limpias (p. ej., digitalización, edificios, comunidades de energía y</p>	<p>Tendencias sobre patentes (incluidas las patentes de alto valor)</p>	<p>Intensidad energética / productividad</p>	

²⁶⁰ La evaluación se ha llevado a cabo en estrecha colaboración con el Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias de la Comisión Europea: los datos correspondientes a la parte 1 se facilitan en Georgakaki, A. y otros: *Clean Energy Technology Observatory: Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report* [«Observatorio de las Tecnologías Energéticas Limpias: Análisis estratégico general de las tecnologías energéticas limpias en la Unión Europea: informe de situación de 2022», documento en inglés], Comisión Europea, 2022, JRC131001; en cuanto a la parte 2, los informes sobre las tecnologías individuales están disponibles en https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

²⁶¹ Y, si está disponible, coste normalizado de almacenamiento.

²⁶² Segmentos de la cadena de valor que dependen de materias primas fundamentales.

cooperación a escala subnacional)			
	Nivel de publicaciones científicas	Producción comunitaria Valores de producción anual	