

A complex network diagram with numerous nodes of various colors (red, yellow, blue, green, purple) connected by thin blue lines, set against a dark background. The nodes are densely packed in some areas and more sparse in others, creating a web-like structure.

Energy Technology Perspectives 2024

**Resumen ejecutivo
y aspectos destacados**

iea

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 31 member countries, 13 association countries and beyond.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Lithuania
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Republic of Türkiye
United Kingdom
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

IEA association countries:

Argentina
Brazil
China
Egypt
India
Indonesia
Kenya
Morocco
Senegal
Singapore
South Africa
Thailand
Ukraine

Source: IEA.
International Energy Agency
Website: www.iea.org



Resumen ejecutivo

La interconexión de tres áreas estratégicas de la política pública – energía, industria y comercio internacional – está aumentando. En cada una de estas áreas surgen tensiones y concesiones a medida que los gobiernos intentan conciliar su compromiso con el buen funcionamiento de los mercados y las transiciones energéticas limpias, económicamente rentables, con la necesidad de establecer cadenas de suministro de tecnologías limpias seguras y resilientes. Esto implica tomar decisiones difíciles sobre qué industrias apoyar, cómo colaborar con socios comerciales y cómo priorizar los esfuerzos en materia de innovación. Esta edición de 2024 de *Energy Technology Perspectives (ETP, Perspectivas de la Tecnología Energética)*, la «guía mundial de las tecnologías de energía limpia», se ha diseñado para facilitar la toma de decisiones en estas áreas. *ETP-2024* es el primer análisis de este tipo que aborda el futuro de la fabricación y el comercio de tecnologías de energía limpia, y cuenta con información sectorial detallada de las cadenas de suministro, a partir de un conjunto de datos *bottom-up* (enfoque ascendente) único y una evaluación cuantitativa de las estrategias industriales de distintos países.

La fabricación y el comercio internacional son fundamentales para la nueva economía de la energía limpia

Las grandes oportunidades económicas asociadas a la fabricación de tecnologías de energía limpia son una prioridad absoluta para gobiernos e industria. El tamaño del mercado mundial de seis de las principales tecnologías de energía limpia (solar fotovoltaica, eólica, vehículos eléctricos, baterías, electrolizadores y bombas de calor) se ha multiplicado casi por cuatro desde 2015 hasta superar los 700 000 millones USD en 2023, lo que equivale aproximadamente a la mitad del valor de todo el gas natural producido en el mundo ese año. Este crecimiento se ha visto impulsado por el auge del desarrollo de tecnologías limpias, en particular, de vehículos eléctricos, solar fotovoltaica y eólica. Con las políticas actuales, el mercado de las principales tecnologías limpias casi se triplicará de aquí a 2035, superando los 2 billones USD. Esta cifra se aproxima al valor medio del mercado mundial del petróleo crudo en los últimos años.

El comercio internacional es fundamental para el buen funcionamiento de la economía mundial, incluido el sistema energético. El comercio mundial de bienes, que engloba productos esenciales de todo tipo (desde alimentos y ropa

hasta teléfonos inteligentes y semiconductores), ascendió a un valor de aproximadamente 24 billones USD en 2023. Los combustibles fósiles representaron alrededor del 10 % de esta cifra, mientras que los materiales a granel y los productos químicos (incluidos el acero, el aluminio y el amoníaco) supusieron alrededor del 20 %. En la actualidad, el comercio de tecnologías de energía limpia representa una parte comparativamente pequeña con respecto a estas industrias establecidas (en torno al 1 %), pero está experimentando un rápido crecimiento.

Con un valor cercano a los 200 000 millones USD, el comercio internacional de tecnologías limpias representa casi el 30 % del valor total del mercado mundial. El componente más importante es el comercio internacional de vehículos eléctricos, que se ha duplicado desde 2020 y representa alrededor de una quinta parte del valor total del comercio internacional de automóviles en 2023. La segunda tecnología más comercializada en términos de valor es la solar fotovoltaica. Con las políticas actuales, el comercio global de tecnologías limpias está en camino de alcanzar los 575 000 millones USD en 2035, es decir, alrededor de un 50 % más que el comercio mundial de gas natural en la actualidad.

Las inversiones en fabricación aumentan en respuesta al rápido crecimiento de la demanda de tecnologías limpias

Se está produciendo un importante incremento de la inversión en la fabricación de tecnologías limpias, lo que está dando lugar a la construcción de una gran cantidad de nuevas fábricas en todo el mundo. La inversión mundial en fabricación de tecnologías limpias aumentó un 50 % en 2023, alcanzando los 235 000 millones USD. Esto equivale a cerca de un 10 % del crecimiento total de la inversión en la economía mundial y a alrededor de un 3 % del crecimiento del PIB mundial. En 2023, cuatro quintas partes de la inversión en fabricación de tecnologías limpias se destinaron a solar fotovoltaica y a baterías, y las plantas de vehículos eléctricos representaron otro 15 %. El aumento de la capacidad de fabricación ha superado con creces los niveles actuales de despliegue. A pesar de que recientemente se han cancelado y aplazado algunos proyectos de fabricación de solar fotovoltaica y baterías, se prevé que la inversión en instalaciones de fabricación de tecnologías limpias se mantenga cerca de sus recientes niveles récord, es decir, en torno a los 200 000 millones USD en 2024.

La competitividad de los costes es un factor importante a la hora de decidir dónde instalar una planta de fabricación, pero no el único. Actualmente, China es el lugar más barato para fabricar todas las tecnologías principales de energías limpias consideradas en este informe, sin tener en cuenta el apoyo financiero explícito de los gobiernos. En comparación con China, fabricar módulos solares fotovoltaicos, turbinas eólicas y baterías cuesta, de media, hasta un 40 % más en Estados Unidos, hasta un 45 % más en la Unión Europea y hasta un 25 %

más en India. La competitividad de los costes es un factor clave para explicar el papel preponderante de China en la fabricación de tecnologías limpias: representa, según el caso, entre el 40 % y el 98 % de la capacidad mundial de fabricación de los principales componentes y tecnologías limpias que analizamos. En comparación con otros países, China tiene mayores economías de escala, un mercado nacional más grande y empresas e instalaciones muy integradas a lo largo de la cadena de suministro de estas tecnologías. Según una encuesta realizada por la AIE a más de 50 grandes fabricantes en las cadenas de suministro de materiales y tecnologías limpias, existen otros factores que influyen en las decisiones de inversión, además de los costes. Entre ellos figuran distintas medidas de apoyo político, el acceso a los mercados, las competencias y los conocimientos de la base industrial, y la infraestructura.

El comercio internacional puede ayudar a los países a aprovechar sus fortalezas económicas

La transición del comercio internacional relacionado con la energía hacia tecnologías limpias forma parte de un cambio más amplio del sector energético que tendrá implicaciones a largo plazo en los volúmenes del comercio internacional. Los combustibles fósiles generan flujos recurrentes de comercio energético, mientras que el comercio de tecnologías limpias crea una reserva de larga duración de equipos de generación y transformación de energía. Por ejemplo, según las políticas actuales, las importaciones netas de combustibles fósiles y tecnologías de energías limpias de la Unión Europea rondarán los 400 000 millones USD en 2035. Sin embargo, los costes totales de las importaciones del bloque tienden hacia una mayor proporción de tecnologías de energías limpias, desde menos del 10 % en 2023 hasta el 35 % en 2035, en detrimento de los combustibles fósiles. Esto tiene un efecto positivo en la resiliencia energética: un solo viaje de un gran portacontenedores lleno de módulos fotovoltaicos puede proporcionar los medios para generar la electricidad equivalente a la producida por el gas natural que transportarían más de 50 grandes buques de gas natural licuado (GNL) o por el carbón de 100 grandes cargueros.

Las estrategias industriales de Europa y Estados Unidos alterarán las perspectivas de la fabricación y el comercio internacional

En la Unión Europea, el futuro de la fabricación de tecnologías limpias dependerá de hasta qué punto se alcancen los objetivos de la Ley sobre la industria de cero emisiones netas (*Net Zero Industry Act*, NZIA). Algunas tecnologías, como las fases finales de la fabricación de componentes eólicos y bombas de calor, pueden alcanzar fácilmente los objetivos de la NZIA, pero el reto

al que se enfrenta la industria automovilística es mucho mayor. Más del 40 % de los vehículos de combustión interna que se fabrican hoy día en la Unión Europea se exportan y compiten con los fabricantes de vehículos eléctricos de China, que producen a nivel nacional para el mercado de la UE. Para que la industria automovilística de la UE pueda competir en el creciente mercado de los vehículos eléctricos, será imprescindible reducir los costes de fabricación y lograr la plena integración de las cadenas de suministro, incluidas las baterías. En 2023, las importaciones procedentes de China representaron en torno al 20 % de las ventas de vehículos eléctricos en la Unión Europea. Con las políticas actuales, este porcentaje se duplicará hasta el 40 % en 2035, a pesar de los aranceles a la importación anunciados recientemente, que se aplicarán durante cinco años. Si se alcanzan los objetivos de la NZIA, una cadena de suministro de vehículos eléctricos y baterías totalmente integrada podría reducir esta cuota al 20 %.

En Estados Unidos, la Ley de Reducción de la Inflación (*Inflation Reduction Act*) y la Ley Bipartidista de Infraestructuras (*Bipartisan Infrastructure Law*) están dando sus frutos. Ya han logrado 230 000 millones USD de inversión para la fabricación de tecnologías limpias hasta 2030. Con las políticas actuales, y gracias a los incentivos previstos en estas leyes, la demanda estadounidense de módulos solares fotovoltaicos y de polisilicio podría cubrirse casi en su totalidad con la producción nacional en 2035, mientras que parte de la demanda de células y obleas seguiría satisfaciéndose con importaciones. Las relaciones comerciales existentes proporcionan una base sólida: México podría convertirse en un centro de fabricación de vehículos eléctricos para el mercado norteamericano, como lo es actualmente para los coches con motor de combustión interna, mientras que el Sudeste Asiático, Corea y Japón podrían ser otros proveedores potenciales clave.

China sigue siendo la potencia mundial en fabricación, mientras que India avanza a pasos agigantados y se está convirtiendo en exportador neto

La cuota de valor de China en la fabricación mundial de las seis tecnologías limpias clave se sitúa hoy en día en torno al 70 %. La mayor planta de fabricación de módulos solares fotovoltaicos de China, en fase de construcción y situada en la provincia de Shanxi, podría producir suficientes módulos para cubrir prácticamente toda la demanda actual de la UE. A pesar de la implementación en curso de las estrategias industriales de otros países, si se mantienen las políticas actuales, el valor de las exportaciones chinas de tecnologías limpias superará los 340 000 millones USD en 2035. Esta cifra equivale aproximadamente a los ingresos por exportación de petróleo previstos para 2024 de Arabia Saudí y Emiratos Árabes Unidos juntos. Actualmente, el coste de las importaciones chinas de combustibles fósiles es el más elevado del mundo. Con las políticas actuales, el coste de las importaciones netas (teniendo en cuenta las importaciones de combustibles fósiles y las exportaciones de tecnologías limpias) se reducirá en torno a un 70 % de aquí a 2035. Si los mercados de tecnologías limpias crecen

más deprisa de lo previsto con las políticas actuales, el valor de las exportaciones chinas de tecnologías limpias compensará por completo sus importaciones de combustibles fósiles antes de 2035.

Si se acelera la transición hacia las energías limpias, India pasaría de ser un importador neto de tecnologías limpias a ser un exportador neto en 2035.

Con las políticas actuales, India seguiría siendo un importador neto de tecnologías limpias en términos de valor en 2035, aunque con un modesto crecimiento de la producción y las exportaciones de módulos solares fotovoltaicos, vehículos eléctricos y baterías, incentivado por su Plan de incentivos vinculados a la producción (*Production Linked Incentive Scheme*). En cambio, si la transición hacia las energías limpias avanza más rápidamente en India y en el resto del mundo, las exportaciones netas de tecnologías de energía limpia del país podrían crecer rápidamente hasta alcanzar los 30 000 millones USD en 2035, tras satisfacer una gran parte de su propia demanda, en rápido crecimiento. Esto compensaría alrededor del 20 % de sus costes de importación de combustibles fósiles remanentes, que rondarían los 170 000 millones USD, lo que reduciría el déficit comercial indio relacionado con la energía a unos 140 000 millones USD.

Los mercados emergentes siguen teniendo oportunidades para aprovechar la nueva economía de las energías limpias

En la actualidad, las economías emergentes y en desarrollo de América Latina, África y el Sudeste Asiático representan menos del 5 % del valor de la producción de tecnologías limpias. Para lograr una transición justa y equitativa, es necesario permitir que más regiones se beneficien económicamente de las crecientes cadenas de suministro de tecnologías de energía limpia y moderna. Para ello, será fundamental acelerar la transición hacia las energías limpias y crear un mayor mercado global de tecnologías de energía limpia. También hay que abordar otros factores que frenan actualmente la inversión en mercados emergentes, como los riesgos políticos y de divisas, la falta de mano de obra cualificada y las infraestructuras deficientes. Aun así, existen oportunidades: más allá de la extracción y el procesamiento de minerales críticos, los países de África, América Latina y el Sudeste Asiático podrían potenciar sus ventajas competitivas y ascender en la cadena de valor. Para identificar las oportunidades de cada país, hemos recopilado datos de cada uno de ellos a partir de más de 60 indicadores que evalúan el entorno empresarial, las infraestructuras energéticas y de transporte (como redes eléctricas, gasoductos y puertos), la disponibilidad de recursos y el tamaño del mercado nacional.

El Sudeste Asiático ya ocupa un lugar importante en las cadenas de suministro de tecnologías limpias y varios países pueden ascender en la cadena de valor. La región podría situarse entre las zonas más baratas para producir polisilicio y obleas para módulos solares fotovoltaicos en el 2035. Varios

de estos países podrían aprovechar sus actuales fortalezas en la fabricación de equipos electrónicos y eléctricos, los precios competitivos de la mano de obra y la energía, y las políticas gubernamentales de apoyo a las industrias orientadas a la exportación. Si esta región logra sacar el máximo provecho de estas ventajas competitivas y las medidas políticas adoptadas en todo el mundo son compatibles con el objetivo de alcanzar cero emisiones netas a nivel mundial para 2050, el Sudeste Asiático podría producir más de 8 millones de vehículos eléctricos para 2035 (frente a los 40 000 actuales), de los cuales cerca de la mitad se exportarían.

América Latina (y, en particular, Brasil) cuenta con unas condiciones de partida favorables para la fabricación de turbinas eólicas, pero se requieren inversiones importantes en infraestructura y logística para aprovecharlas.

Hoy día, Brasil produce más del 5 % de las palas eólicas de todo el mundo. Si el país consigue aprovechar sus buenas condiciones de partida, en un escenario compatible con las cero emisiones netas para 2050, las exportaciones de estos componentes se multiplicarían por seis en 2035 con respecto a los niveles actuales, siempre que se materialicen las inversiones a largo plazo en infraestructuras portuarias. Brasil, al igual que otros países latinoamericanos, cuenta también con abundantes recursos energéticos renovables que constituyen una buena base para la exportación de amoníaco, hierro y acero de emisiones casi nulas a mercados en los que la producción de estos productos es más costosa, como Europa y Japón.

El norte de África podría convertirse en un hub de fabricación de vehículos eléctricos. Ya se están realizando inversiones, y si la región es capaz de alcanzar su potencial en consonancia con el objetivo global de cero emisiones netas para 2050, el norte de África exportaría en 2035 cerca de la mitad de los 3,7 millones de vehículos eléctricos que produciría entonces, principalmente a la Unión Europea. Esto permitiría consolidar la cartera de proyectos existente en países como Marruecos. En otras zonas de África, algunos países tienen potencial para aprovechar el mineral de hierro y recursos energéticos renovables, por ejemplo, para ascender en la cadena de valor y producir hierro con hidrógeno electrolítico. Si se plantean objetivos climáticos a escala mundial compatibles con lograr las cero emisiones netas para 2050 y se superan las barreras a la inversión de los países africanos, las exportaciones a Europa y Japón de hierro podrían alcanzar un valor más de cuatro veces superior al del mismo tonelaje de mineral de hierro exportado a precios actuales.

La concentración de la cadena de suministro ejerce presión sobre las rutas marítimas más transitadas

A pesar de la ralentización del crecimiento de la actividad naviera a nivel global, aumenta el tráfico en algunos de los puntos con mayor congestión marítima. Si se mantienen las políticas actuales, el comercio marítimo mundial de mercancías aumentaría un 1 % anual en peso durante la próxima década (un

ritmo mucho más lento que en las dos últimas décadas), debido al menor crecimiento de la demanda de combustibles fósiles y acero. Sin embargo, el tráfico a través de ciertos puntos de congestión se intensificaría. En la actualidad, alrededor del 50 % de todo el comercio marítimo de tecnologías limpias atraviesa el estrecho de Malaca. Si se mantienen las políticas actuales, el transporte de tecnologías limpias a través del estrecho de Malaca aumentaría considerablemente, aunque su cuota en el comercio internacional marítimo total seguiría siendo muy pequeña. Esta dependencia de los puntos de congestión marítima plantea riesgos para la resiliencia de la cadena de suministro, sobre todo porque el valor económico de la media de los cargamentos de tecnologías limpias es más de diez veces superior al de la media de los cargamentos de combustibles fósiles por tonelada.

Será crucial contar con estrategias industriales bien diseñadas para que las transiciones hacia energías limpias sigan avanzando a buen ritmo

Las tensiones y compromisos entre los objetivos de las políticas energéticas y las industriales hacen que sea esencial acertar con las medidas de política comercial para las transiciones hacia energías limpias. En algunos casos, los beneficios del comercio internacional asociado a las energías limpias serían mayores si se redujeran las barreras comerciales. Por ejemplo, actualmente, los aranceles medios aplicados a los componentes y sistemas de energías renovables son más del doble que los aplicados a los combustibles fósiles. Las medidas comerciales, tanto arancelarias como no arancelarias, ya incrementan el coste de las tecnologías limpias. Por ejemplo, un arancel del 100 % sobre los módulos solares fotovoltaicos anularía el abaratamiento de esta tecnología registrado en los últimos cinco años. La repercusión en los precios de la electricidad sería más limitada, ya que los módulos fotovoltaicos representan entre el 20 % y el 30 % del coste total de la instalación. Sin embargo, en el caso de los bienes de consumo, como los coches eléctricos, el impacto sería más directo y su implantación se podría ver ralentizada.

Un buen diseño de las estrategias industriales puede ayudar a las empresas a abordar la baja competitividad o alcanzar antes la frontera de la innovación, pero es necesario considerar detenidamente cómo interaccionan con las medidas de política comercial. La política industrial aplicada con un objetivo específico, medible y limitado en el tiempo puede ayudar a conseguir los objetivos climáticos y de política energética. Por ejemplo, el coste de producción de baterías en la Unión Europea es actualmente un 50 % superior al de China. Las tecnologías innovadoras que se están desarrollando actualmente en el campo de las baterías podrían ayudar a reducir la diferencia de costes hasta en un 40 %, un punto en el que las ventajas de localizar la fabricación en la Unión Europea podrían compensar la diferencia de costes restante. Para fomentar y mantener la

competitividad y la innovación, las políticas industriales deben supervisarse y corregirse si es necesario. Si se desea que la política comercial apoye estos objetivos, debe diseñarse con especial cuidado, ya que el proteccionismo o el respaldo financiero generalizado tienen muy pocas probabilidades de constituir una estrategia industrial eficaz.

Las estrategias industriales deben tener en cuenta los nuevos parámetros y objetivos del comercio internacional en las cadenas de suministro de tecnologías limpias. Para equilibrar los esfuerzos necesarios para alcanzar los objetivos climáticos y de política energética e industrial, las políticas comerciales deberán diseñarse teniendo en cuenta su función en la nueva economía de energías limpias y su importancia para la competitividad industrial en la actualidad. No existe un modelo único a seguir para estas políticas, pero el análisis presentado en *ETP-2024* está diseñado para ayudar a avanzar en este sentido.

Introducción

La serie de informes sobre tecnología más emblemática de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), *Energy Technology Perspectives (ETP, Perspectivas de la Tecnología Energética)*, lleva ofreciendo desde 2006 una visión crítica de los aspectos tecnológicos clave del sector energético. En 2020 se reformó para servir como guía de la AIE en lo referente a las tecnologías de energía limpias y se enfocó en temas especialmente relevantes para quienes formulan políticas, dada la importancia vital de las tecnologías de energía limpias y de la innovación para alcanzar los objetivos de las políticas en materia de seguridad energética, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental. Los esfuerzos para alcanzar estos objetivos abarcan diferentes aspectos de las políticas industriales, energéticas y comerciales; la búsqueda de sinergias positivas entre ellas y la gestión de posibles compromisos serán clave para conseguirlo. *Energy Technology Perspectives (ETP-2024)* es el primer informe de este tipo que, a partir de datos sectoriales detallados y análisis innovadores, analiza el futuro de la fabricación y el comercio internacional de tecnologías de energía limpias y materiales relacionados. Su objetivo es proporcionar a quienes formulan las políticas una evaluación cuantitativa de las oportunidades y complejidades asociadas a la fabricación y el comercio de dichas tecnologías y materiales en todo el mundo con el fin de facilitar la toma de decisiones sobre estos temas.

El análisis abarca seis tecnologías de energía limpias clave (vehículos eléctricos, baterías, solar fotovoltaica, turbinas eólicas, bombas de calor y electrolizadores), que en conjunto representan alrededor de la mitad de la inversión mundial en energías limpias y tienen un tamaño de mercado de más de 700 000 millones USD. El análisis incluye la fabricación y el comercio internacional de los principales componentes de estas tecnologías, así como tres categorías de materiales (acero, aluminio y amoníaco, tanto para aplicaciones industriales como para aplicaciones relacionadas con combustibles), prestando especial atención a los procesos de fabricación con emisiones casi nulas.

El análisis de las *ETP-2024* tiene en cuenta la necesidad de desarrollar cadenas de suministro seguras y resilientes para la transición hacia energías limpias. El informe evalúa las oportunidades económicas que está generando la economía moderna de energías limpias y cómo la inversión en la fabricación de tecnologías de energía limpia y materiales está transformando los flujos comerciales mundiales. Las tecnologías de energía limpia han cobrado protagonismo en las nuevas estrategias industriales que los gobiernos de todo el mundo están diseñando para impulsar la fabricación nacional, crear empleo y aumentar la

resiliencia, a la vez que contribuyen a los esfuerzos de descarbonización. La política desempeña un papel fundamental en estas áreas: cada país debe diseñar su propia estrategia industrial de energías limpias, que refleje sus fortalezas y debilidades inherentes, entre las que se incluyen el acceso a recursos minerales y energéticos de bajo coste, mano de obra cualificada y sinergias con las industrias existentes. Quienes formulan las políticas deben buscar un equilibrio entre los objetivos de seguridad del suministro y la resiliencia, la asequibilidad y la equidad a la hora de diseñar políticas y estrategias eficaces para alcanzar lo antes posible el objetivo de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI). *ETP-2024* analiza diferentes formas de gestionar los compromisos para alcanzar estos objetivos.

Este informe amplía en gran medida el análisis de *ETP-2023*, que se centró en las cadenas de suministro de tecnologías de energía limpia y su importancia en la transición energética, y constató que la fabricación de tecnologías clave estaba muy concentrada en unos pocos mercados grandes. *ETP-2024* profundiza en los factores que determinan la situación actual y las perspectivas futuras de la fabricación y el comercio internacional de estos materiales y tecnologías clave de energías limpias, a partir de un conjunto de datos único y muy detallado.

El capítulo 1 aborda la situación actual de las cadenas de suministro de fabricación y evalúa los factores que impulsan la toma de decisiones de inversión en la industria manufacturera, en particular, la competitividad de costes. El capítulo 2 analiza las perspectivas futuras de la capacidad de fabricación y producción de energías limpias, así como del comercio interregional, a partir de proyecciones basadas en escenarios de políticas. El capítulo 3 profundiza en las perspectivas de cuatro mercados principales: Estados Unidos, la Unión Europea, China e India. El capítulo 4 ofrece una evaluación detallada de las oportunidades que tienen las economías de mercados emergentes y en desarrollo para ascender en la cadena de valor y obtener los beneficios de la inversión en la fabricación de tecnologías de energía limpia y en la producción de materiales. El capítulo 5 identifica las principales rutas marítimas y los puntos de congestión asociados al comercio de tecnologías de energía limpia, así como el papel de los puertos y los buques en la descarbonización del comercio internacional. Por último, el capítulo 6 analiza consideraciones estratégicas para quienes formulan políticas.

Capítulo 1: Situación de la fabricación y el comercio

Aspectos destacados

- La capacidad mundial de fabricación de tecnologías de energía limpia está experimentando un rápido crecimiento. Tan solo entre 2021 y 2023, la capacidad de producción aumentó de poco más de 450 GW a 1,2 TW para módulos solares fotovoltaicos, de 125 GW a 180 GW para turbinas eólicas, de 10,5 a 22,2 millones de unidades para vehículos eléctricos, de 1,1 TWh a 2,5 TWh para baterías y se triplicó hasta los 25 GW para electrolizadores. Las ampliaciones anunciadas podrían aumentar la capacidad de producción en 2030 hasta 1,6 TW para solar, 260 GW para turbinas eólicas, 9,3 TWh para baterías y 165 GW para electrolizadores.
- China es, con diferencia, el mayor productor de tecnologías de energía limpia y materiales como el acero, el aluminio y el amoníaco. Según los proyectos anunciados, se espera que la concentración geográfica en la fabricación se mantenga hasta 2030, y que China, la Unión Europea y Estados Unidos representen más del 80 % de la capacidad de producción de las seis cadenas de suministro de tecnologías limpias consideradas en este informe (solar fotovoltaica, eólica, vehículos eléctricos, baterías, electrolizadores y bombas de calor).
- La inversión en capacidad de fabricación en las seis cadenas de suministro de tecnologías de energía limpias alcanzó los 235 000 millones USD en 2023, frente a los 160 000 millones USD de 2022. Se espera que, según los proyectos anunciados, las inversiones en estas instalaciones continúen en torno a los 200 000 millones USD en 2024, con una media de 180 000 millones USD anuales hasta 2030, de los cuales alrededor del 35 % provienen de anuncios firmes.
- El comercio internacional de tecnologías limpias está creciendo con rapidez. Las exportaciones mundiales de módulos solares fotovoltaicos se han multiplicado por más de diez desde 2015 y las de coches eléctricos, por cerca de veinte. Las rutas comerciales de los graneleros están más congestionadas que las de los petroleros y buques portacontenedores, y más concentradas en Asia. La transición hacia energías limpias está cambiando el panorama del comercio internacional: las economías dependen menos de los combustibles fósiles, que se consumen, y más de las tecnologías fabricadas, que se añaden a la capacidad instalada y funcionan durante años. Esto está cambiando la naturaleza de los riesgos de la cadena de suministro.
- Los costes son el principal factor que determina el nivel y la ubicación de las inversiones en fabricación. Los costes operativos variables, incluidos los materiales, los componentes y la energía, representan más de tres cuartas partes del coste nivelado de producción de las tecnologías consideradas, cuando las fábricas se utilizan de forma intensiva. En cuanto a la producción de materiales, la parte del coste correspondiente a la energía suele ser mucho mayor. Fabricar estos materiales con tecnologías de emisiones casi nulas es hoy día mucho más caro que con tecnologías convencionales, pero esta diferencia podría reducirse significativamente cuando alcancen la escala comercial.

- Una encuesta industrial de la AIE a más de 50 empresas destaca la importancia de otros factores además del coste, en particular, el tamaño del mercado nacional. En China, donde la capacidad de fabricación ha crecido con más rapidez en los últimos años, el tamaño del mercado de tecnologías limpias ha aumentado, en términos reales, desde los 25 000 millones USD en 2010 hasta superar los 400 000 millones USD en 2023. La existencia de una amplia base industrial y la localización compartida con proveedores y clientela también son factores determinantes.

Capítulo 2: Perspectivas mundiales

Aspectos destacados

- El comercio internacional es clave para facilitar las transiciones hacia energías limpias. El valor del comercio de tecnologías energéticas limpias aumenta en los tres escenarios utilizados en este informe, aunque a diferente ritmo. En el escenario de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario* o STEPS), el valor aumenta de 200 000 millones USD en 2023 a 575 000 millones USD para 2035, más de la mitad del valor actual del comercio de gas natural. Alcanza más de 700 000 millones USD para el año 2035 en el escenario de Compromisos Anunciados (*Announced Pledges Scenario* o APS), y sigue creciendo hasta superar 1 billón USD en el escenario de Cero Emisiones Netas para 2050 (*Net Zero Emissions by 2050 Scenario* o NZE). Los beneficios del comercio serían mayores si se redujeran los aranceles: actualmente, los aranceles sobre los sistemas y componentes de energías renovables duplican de media los aplicados a los combustibles fósiles.
- El creciente comercio de tecnologías limpias tendrá un gran impacto en las balanzas comerciales. En el STEPS, las importaciones netas de tecnologías de energía limpias de Estados Unidos aumentan hasta alcanza los 150 000 millones USD en 2035, pero esto se contrarresta por un aumento de las exportaciones de combustibles fósiles. En la Unión Europea, las importaciones netas de tecnologías de energía limpias, un tercio de las cuales proceden de China, alcanzan los 140 000 millones USD en 2035, lo que contrarresta por completo las ganancias derivadas de la reducción de los costes de importación de combustibles fósiles.
- En China, el coste de las importaciones de combustibles fósiles es hoy día más de cinco veces superior a sus ingresos por la exportación de tecnologías limpias. Las importaciones de combustibles fósiles y las exportaciones de tecnologías limpias se equilibran justo antes de 2050 en el STEPS, mientras que en el APS esto se consigue para 2035, gracias a políticas climáticas más ambiciosas que reducen la demanda de combustibles fósiles y las necesidades de importación. En India, el Plan de incentivos vinculados a la producción (*Production Linked Incentive Scheme*) y las medidas para cumplir su objetivo de cero emisiones netas para 2070 permiten que el país se convierta en exportador neto de tecnologías limpias antes de 2035 en el APS.
- Una mayor ambición climática no implica necesariamente un mayor comercio de tecnologías de energía limpia, ya que los objetivos climáticos deben equilibrarse con los de seguridad energética, comercio internacional y desarrollo industrial. En el escenario NZE, una transición justa e inclusiva implica que más capacidad se ajuste a la demanda en economías de mercados emergentes y en desarrollo (EMDE). Como resultado, el comercio mundial de tecnologías limpias es un 5 % inferior para 2050 respecto al previsto en el APS.

- Es poco probable que las necesidades totales de inversión para la fabricación de tecnologías limpias supongan un obstáculo para la transición. La necesidad de inversión media anual de 150 000 millones USD entre 2024 y 2035 en el APS a nivel global es, en realidad, inferior a la registrada en 2023, pero será todo un reto conseguir que el capital llegue a las tecnologías y los países donde se necesita. En el APS, más del 20 % de la inversión necesaria para la fabricación de tecnologías limpias se destina a las EMDE (excepto China), y este porcentaje es del 30 % en el escenario NZE. En contraste, la inversión anual mundial en la producción de materiales con emisiones casi nulas debe crecer de forma considerable, pasando de los 4 000 millones USD actuales a una media de 88 000 millones USD entre 2036 y 2050 en el APS y a más de 90 000 millones USD en el escenario NZE.

Capítulo 3: Perspectivas en los principales mercados

Aspectos destacados

- En Estados Unidos, la Ley de Reducción de la Inflación (*Inflation Reduction Act*) y la Ley Bipartidista de Infraestructuras (*Bipartisan Infrastructure Law*) están movilizando niveles sin precedentes de apoyo financiero gubernamental para el desarrollo y la fabricación de tecnologías de energía limpia y desbloqueando nuevas inversiones. En el escenario de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario* o STEPS), la demanda de módulos solares fotovoltaicos y polisilicio en Estados Unidos se satisface casi en su totalidad con producción nacional en 2035, pero la demanda de células solares fotovoltaicas y obleas sigue dependiendo de las importaciones. En el escenario de Compromisos Anunciados (*Announced Pledges Scenario* o APS), México aprovecha los puntos fuertes existentes en la fabricación de automóviles para convertirse en un centro de fabricación de vehículos eléctricos, que representan el 35 % de las importaciones de Estados Unidos para 2035. En el STEPS, la inversión necesaria para la fabricación de tecnologías de energía limpia y materiales de emisiones casi nulas hasta 2030 es de 250 000 millones USD (a precios de 2023), y cerca de 300 000 millones USD en el APS.
- En la Unión Europea, el punto de referencia de la Ley sobre la industria de cero emisiones netas (*Net Zero Industry Act, NZIA*), que consiste en que el 40 % del despliegue en la UE se alcance mediante fabricación propia, es más fácil de lograr en el caso de las turbinas eólicas y las bombas de calor, siempre que haya suficiente demanda. La cartera actual de proyectos para la producción de baterías es suficiente para alcanzar los objetivos de la NZIA, pero se requerirá una reducción de los costes de producción y un crecimiento del mercado doméstico de vehículos eléctricos para que la cadena de suministro de este tipo de vehículos sea competitiva. Como resultado, las importaciones de vehículos eléctricos procedentes de China en 2035 son un 50 % menores en el APS que en STEPS. La competitividad de las instalaciones de producción de materiales de la UE se ha visto afectada por el aumento de los costes de la energía desde 2021 y es necesario que sigan modernizándose para mantenerse a la vanguardia de los avances en los procesos de emisiones casi nulas. Ya se han asegurado inversiones por valor de 10 000 millones USD en este tipo de proyectos, lo que supone cerca del 50 % de las inversiones globales, y se han anunciado otros 10 000 millones USD.
- China seguirá siendo el principal fabricante mundial de tecnologías limpias, pero depende de diferentes factores que pueda aprovechar todo su potencial. En el STEPS, alrededor del 60 % de todos los vehículos eléctricos vendidos en el mundo en 2035 se fabrican en China. En cuanto a los módulos solares fotovoltaicos, la capacidad existente y anunciada sería prácticamente suficiente

para satisfacer la demanda mundial en 2030 en el APS, pero otros países también invierten en capacidad de fabricación en este escenario y llegan a satisfacer alrededor del 35 % de la demanda mundial. China sigue siendo el mayor productor de materiales en 2035 en el APS, aunque su cuota de producción mundial disminuye ligeramente.

- El Plan de incentivos vinculados a la producción de India fomenta la integración vertical de las cadenas de suministro, un factor clave de la ventaja competitiva actual de China. En el STEPS, esto da lugar a que la producción india de módulos solares fotovoltaicos se multiplique por nueve hasta 2030 y que la producción de celdas de baterías pase de ser una industria incipiente en 2023 a superar los 50 GWh en 2030, un nivel cercano al de la Unión Europea en 2023.

Capítulo 4: Oportunidades en mercados emergentes

Aspectos destacados

- La transición hacia energías limpias ofrece a los mercados emergentes la oportunidad de establecer o ampliar su capacidad de fabricación de tecnologías limpias y materiales con emisiones casi nulas. En la actualidad, estos países representan menos del 5 % del valor generado en estos sectores a nivel mundial.
- La medida en que los mercados emergentes puedan aprovechar esa oportunidad depende de que se den una serie de factores, como el entorno empresarial, las infraestructuras energéticas y de transporte, y la disponibilidad de recursos y mercados nacionales. Un análisis exhaustivo realizado para esta edición de ETP ha identificado el potencial de los países de América Latina, el Sudeste Asiático y África para desarrollar capacidades de fabricación de los principales materiales y tecnologías de energías limpias.
- El Sudeste Asiático tiene un potencial considerable para expandir la fabricación de solar fotovoltaica y vehículos eléctricos, dado que cuenta con mano de obra cualificada, experiencia en sectores similares y con recursos energéticos favorables. En el escenario de Compromisos Anunciados (*Announced Pledges Scenario* o APS), la cuota de producción mundial de obleas y polisilicio para solar fotovoltaica de los países del Sudeste Asiático se multiplica por dos, pasando del 2 % en 2023 al 5 % en 2035. La región produce alrededor de 5,7 millones de vehículos eléctricos en 2035 (en comparación con los aproximadamente 40 000 de 2023), de los que se exportan aproximadamente la mitad.
- América Latina cuenta con condiciones favorables para desarrollar la fabricación de turbinas eólicas y baterías, así como para producir amoníaco con emisiones casi nulas. Brasil produce actualmente más del 5 % de todas las palas eólicas y es un importante productor de acero y exportador de mineral de hierro, con una infraestructura portuaria relevante. Si se mejoran las infraestructuras de transporte y sus conexiones con los emplazamientos de fabricación, y si se redujeran los riesgos de inversión, Brasil podría aprovechar al máximo su elevado potencial y multiplicar por seis las exportaciones de palas eólicas de aquí a 2035.
- El actual entorno empresarial y las infraestructuras de África, así como su baja demanda interna, dificultan la captación de grandes inversiones para plantas de fabricación, pero existen importantes oportunidades en algunos sectores y países que podrían apoyar el desarrollo económico y la creación de empleo. El norte de África, en particular Marruecos, se convierte en un centro de fabricación de vehículos eléctricos en el APS y exporta a Europa y Norteamérica el 65 % de los 1,8 millones de vehículos eléctricos que produce para 2035. África también aprovecha sus recursos de mineral de hierro y energías renovables para producir hierro con hidrógeno electrolítico. En el escenario de Alto Potencial (*High Potential Case*), las exportaciones a Europa, Corea y Japón alcanzan unos 6 000 millones USD en 2050.

Capítulo 5: Transporte marítimo internacional

Aspectos destacados

- El transporte marítimo es la columna vertebral del comercio internacional y representa más del 80 % del comercio en términos de peso. En las últimas cuatro décadas, el comercio marítimo mundial se ha multiplicado por tres en términos de peso y por diez en términos de valor económico. Actualmente, los combustibles fósiles y otros insumos de la industria pesada representan cerca de dos tercios de la actividad marítima, utilizando principalmente graneleros de carga seca y petroleros. Los combustibles fósiles representan por sí solos el 40 % del comercio marítimo en términos de peso, y el mineral de hierro y la bauxita, utilizados en la fabricación de acero y aluminio, respectivamente, el 20 %.
- En la actualidad, la actividad marítima está muy concentrada en la región de Asia-Pacífico, donde China ocupa un lugar central: alberga los puertos de contenedores más activos y es el principal importador de mercancías transportadas en petroleros y graneleros de carga seca. Las importaciones y exportaciones de China representan más del 40 % de la actividad marítima internacional relacionada con las necesidades de la industria pesada y de combustibles fósiles.
- Alrededor del 60 % del comercio marítimo internacional atraviesa al menos un punto de congestión marítima. Un tercio de todo el comercio de combustibles fósiles atraviesa el estrecho de Malaca y un 20 %, el estrecho de Ormuz, mientras que dos tercios del comercio marítimo de tecnologías de energía limpia pasa al menos por un punto de congestión y más de la mitad, únicamente por Malaca. En el escenario de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario* o STEPS), el transporte de tecnologías limpias a través del estrecho de Malaca aumenta considerablemente y su cuota en el comercio marítimo total se aproxima al 60 % en 2035.
- Las transiciones hacia energías limpias modificarán las rutas comerciales mundiales y ralentizarán el crecimiento de la actividad marítima, a pesar del aumento del comercio de tecnologías de energía limpia. En el escenario de Compromisos Anunciados (*Announced Pledges Scenario* o APS), la disminución del consumo de combustibles fósiles y el aumento del reciclaje reducen la actividad marítima en un 10 % para 2035 y en un 15 % para 2050 con respecto al STEPS. Las emisiones del transporte marítimo internacional disminuyen cerca de un 60 % para 2035 y más de un 90 % para 2050 en el APS, gracias al cambio hacia el uso de biocombustibles, así como de metanol y amoníaco producidos con emisiones casi nulas, aunque continúa la incertidumbre sobre su futura

adopción. Estos combustibles representan más del 80 % del consumo energético del transporte marítimo en 2050.

- El transporte marítimo y otros costes de transporte representan menos del 10 % del coste total de suministrar combustibles de bajas emisiones a los puertos para repostar, pero su transporte es más caro que el de los combustibles derivados del petróleo. Los costes de producción son más bajos en regiones que hoy día no son grandes centros de abastecimiento de combustible. Esto crea una oportunidad para que determinados puertos se conviertan en pioneros en el suministro de combustible de bajas emisiones, en especial en zonas como Oriente Medio y Australia, donde abundan los recursos renovables y el tráfico marítimo es considerable. Los puertos de otras regiones con importantes recursos renovables también podrían exportar amoniaco a los principales centros de transporte marítimo existentes.

Capítulo 6: Consideraciones estratégicas

Aspectos destacados

- Para lograr transiciones bien organizadas hacia energías limpias que protejan y mejoren la prosperidad económica de todos, es necesario que todos los gobiernos aborden de manera equilibrada tres dimensiones políticas clave para las cadenas de suministro de fabricación de energías limpias: seguridad y resiliencia, asequibilidad y transiciones centradas en las personas. Esto exige una mayor integración de las políticas energéticas, climáticas, industriales y comerciales. La cooperación internacional en torno a nuevas cuestiones, como los estándares, es esencial.
- Entre los riesgos intrínsecos de las cadenas de suministro seguras y resilientes se incluyen la concentración del suministro, los cuellos de botella en el comercio de bienes físicos y las medidas que afectan al comercio. Entre los riesgos intrínsecos de las energías limpias y los materiales asequibles se incluyen la falta de apoyo a la innovación y la competencia, así como la baja eficiencia de los materiales a lo largo de las cadenas de suministro. Entre los riesgos para lograr unos resultados equitativos de las transiciones energéticas se incluyen la lentitud de las inversiones en economías emergentes y en desarrollo, y la disminución de oportunidades económicas en lugares que podrían sufrir la pérdida de la capacidad de fabricación ya existente.
- Quienes formulan las políticas deben afrontar compromisos inevitables entre algunos de estos riesgos y tendrán que adoptar enfoques realistas y basados en datos para encontrar un equilibrio entre los objetivos a largo plazo. Los avances en la mitigación de los riesgos se pueden monitorizar utilizando diferentes métricas a nivel nacional e internacional, pero es necesario contar con mejores datos en varias áreas.
- Seis respuestas estratégicas pueden ayudar a abordar los riesgos identificados para la resiliencia de las cadenas de suministro, el empleo y la prosperidad:
 - Diseñar paquetes de políticas industriales que sean específicos, eficaces y sólidos, y que promuevan la competitividad internacional.
 - Fomentar los ecosistemas de innovación para mejorar la competitividad.
 - Mejorar la competitividad favoreciendo la localización compartida y la integración.
 - Apoyar una amplia diversificación de la industria de fabricación, en particular, para las economías emergentes y en desarrollo, a través de alianzas.

- Anticipar la evolución del transporte marítimo, incluyendo los riesgos asociados a los puntos de congestión y las implicaciones de la creciente demanda de combustibles de bajas emisiones.
- Respalda la recopilación de mejores datos sobre comercio internacional, capacidades y emisiones para facilitar la toma de decisiones por parte de empresas y gobiernos.

International Energy Agency (IEA)

Spanish translation of *Energy Technology Perspectives Executive summary 2024*

El presente documento fue publicado originalmente en inglés. Aunque la AIE no ha escatimado esfuerzos para asegurar que su traducción al español constituya un reflejo fiel del texto original, se pueden encontrar ligeras diferencias.

This work reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of the IEA's individual member countries or of any particular funder or collaborator. The work does not constitute professional advice on any specific issue or situation. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the work's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the work.



Subject to the IEA's [Notice for CC-licensed Content](#), this work is licenced under a [Creative Commons Attribution 4.0 International Licence](#).

Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

IEA Publications
International Energy Agency
Website: www.iea.org
Contact information: www.iea.org/contact

Typeset in France by IEA - Original version: October 2024; Translation:
January 2025
Cover design: IEA
Photo credits: © Getty Images

