



Stiftung  
Klimaneutralität



**GARANTIZAR LA SOBERANÍA DE ALEMANIA**

# Cadenas de suministro resilientes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045

Versión abreviada del estudio

## REDACCIÓN

### Garantizar la soberanía de Alemania – Cadenas de suministro resilientes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045

#### POR ENCARGO DE

Stiftung Klimaneutralität  
www.stiftung-klima.de | info@stiftung-klima.de  
Friedrichstraße 140 | 10117 Berlín

#### CREADO POR

Prognos AG  
Goethestraße 85 | 10623 Berlín  
Elias Althoff, Tim Bichlmeier, Lucas Bierhaus, Nico Dietzsch, Hans Dambeck, Dr. Andreas Kemmler, Leonard Krampe, Sebastian Lübbbers, Malek Sahnoun, Lennart Schulz, Minh Phuong Vu, Paul Wendring, Aurel Wunsch, Marco Wunsch, Inka Ziegenhagen

#### Öko-Institut e. V.

Borkumstraße 2 | 13189 Berlín  
Dr. Johannes Betz, Dr. Matthias Buchert, Dr. Nino Schön-Blume, Daniela Eckert, Dra. Katharina Göckeler, Wolf Görz, Ulrike Heutmanek, Cornelia Merz, Inia Steinbach

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19 | 42103 Wuppertal  
Clemens Schneider, Georg Holtz

Prognos se encargó de la gestión global del proyecto en este estudio y se ocupó de las áreas de gestión de la energía, edificios y electrolizadores (plantas). El Öko-Institut se hizo cargo de las áreas de movilidad (incluidas las baterías de iones de litio y los imanes permanentes) y materias primas y recursos. El Wuppertal Institut se ocupó del sector industrial.

#### GESTIÓN DE PROYECTOS

Regine Günther | regine.guenther@stiftung-klima.de  
Dr. Sebastian Helgenberger | sebastian.helgenberger@stiftung-klima.de

Marco Wunsch | marco.wuensch@prognos.com  
Inka Ziegenhagen | inka.ziegenhagen@prognos.com  
Dr. Matthias Buchert | m.buchert@oeko.de

#### AGRADECIMIENTOS

Para el presente estudio se creó un consejo asesor de expertos compuesto por los siguientes miembros: Ministerio de Asuntos Exteriores, Cancillería Federal, Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima, Agora Energiewende, Agora Industrie, Agora Verkehrswende, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (Asociación Federal de Industrias de la Energía y el Agua), Bundesverband der Deutschen Industrie (Federación de Industrias Alemanas), Bundesverband Erneuerbare Energie (Asociación Federal de Energías Renovables), Deutsche Rohstoffagentur (DERA) (Agencia Alemana de Recursos Minerales en la BGR), Deutsche Umwelthilfe, Fundación Europea para el Clima, Stiftung KlimaWirtschaft, Oficina Federal del Medio Ambiente, Verband der Chemischen Industrie (Asociación Alemana de la Industria Química) y la organización ecologista WWF Alemania.

Además, se celebraron eventos profesionales con representantes de empresas e industrias relacionadas con las energías renovables, la automoción y el acero ecológico.

Nos gustaría transmitir nuestro agradecimiento a todos los participantes por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencia. Este intercambio profesional impulsó el estudio.

Los únicos responsables del contenido del estudio son Prognos, Öko-Institut y Wuppertal Institut, así como la fundación Stiftung Klimaneutralität, que es la entidad que lo encargó.

#### CITAR COMO

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2023): Garantizar la soberanía de Alemania – Cadenas de suministro resilientes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045  
Estudio encargado por la fundación Stiftung Klimaneutralität – versión abreviada

Versión abreviada del estudio

## **GARANTIZAR LA SOBERANÍA DE ALEMANIA**

Cadenas de suministro resilientes  
para la transformación hacia  
la neutralidad climática en 2045

**Con este estudio queremos poner el foco sobre las prioridades, los ámbitos de actuación y las medidas políticas para conseguir unas «cadenas de suministro resilientes» que garanticen la transformación hacia la neutralidad climática.**

## Índice

Prólogo 05

Resumen ejecutivo 07

1. Introducción 08

2. Riesgos en la cadena de suministro 09

3. Principales retos 10

4. Estrategias y medidas 17

5. Recomendaciones políticas 24

## Queridos lectores:

Los últimos años han estado marcados por profundos cambios que han puesto de manifiesto la necesidad de una transformación urgente y resiliente hacia una economía climáticamente neutra. Entre esos cambios se incluyen las consecuencias de la crisis climática provocada por el ser humano, que son cada vez más tangibles a nivel mundial. Por otro lado, la actual guerra de agresión rusa a Ucrania ha puesto en evidencia la vulnerabilidad de la economía y la sociedad europeas debido a su dependencia de las fuentes de energía fósiles, así como a las consecuencias negativas que conlleva depender de las importaciones de un país concreto. Con la aprobación de la Ley de Reducción de la Inflación en Estados Unidos se ha demostrado que la carrera por hacerse con las tecnologías del futuro que impulsarán la transformación ya ha comenzado. Y está China, que lleva más de una década trabajando con éxito para convertirse en líder del mercado mundial de tecnologías verdes.

La Unión Europea y Alemania deben diseñar la transformación hacia la neutralidad climática de forma resiliente. En el presente estudio, la resiliencia se entiende como la capacidad de resistir impactos externos o desajustes en las condiciones sociales, económicas o políticas, especialmente en lo que a inserción internacional y adaptación a nuevas condiciones se refiere. Esto requiere disponer de las tecnologías y los componentes necesarios para las tecnologías fundamentales a lo largo de la cadena de suministro, garantizar las materias primas esenciales, aplicar estrategias de diversificación apropiadas y crear una economía de reciclaje desde las primeras fases. Solo así será posible que la Unión Europea y Alemania gestionen correctamente la transformación, desempeñen un papel relevante en el mercado mundial en el futuro y proporcionen puestos de trabajo estables en el territorio nacional. De esta manera, preservarán la soberanía nacional y europea. En definitiva, Europa solo conseguirá la libertad política necesaria para actuar soberanamente si se da una situación en la que la Unión Europea y sus Estados miembros no se vean sometidos a un chantaje unilateral en cuestiones fundamentales de prosperidad económica. Por lo tanto, la cuestión de

las cadenas de suministro resilientes no se reduce a una cuestión económica o a un reto para la transformación, sino que se trata de una cuestión política de seguridad y soberanía.

En este estudio abordamos las distintas dimensiones de los retos mencionados para que los encargados de tomar decisiones puedan adoptar rápida y eficazmente estrategias y medidas para una transformación resiliente.

- Identificamos las tecnologías fundamentales, los productos intermedios y las materias primas para la transformación hacia la neutralidad climática, que los responsables políticos deberían garantizar de forma prioritaria.
- Analizamos las cadenas centrales de suministro e identificamos sus puntos débiles. Las tecnologías necesarias para la transformación solo se pueden considerar plenamente disponibles una vez que todas las partes de la cadena de suministro estén sólidamente establecidas. Eso es lo que significa resiliencia.
- Sugerimos soluciones para cada una de las tecnologías fundamentales y planteamos propuestas de decisiones políticas iniciales.

Este estudio se centra, en primer lugar, en Alemania, con el fin de proporcionar recomendaciones de actuación concretas para un importante Estado miembro de la UE, y, en segundo lugar, pretende facilitar el tratamiento de cuestiones complejas que también afectan a la UE en su conjunto. A través de este estudio, nos gustaría poner el foco en las prioridades clave, los ámbitos de actuación, las estrategias y las medidas políticas para unas «cadenas de suministro resilientes» que garanticen la transformación hacia la neutralidad climática y refuercen así la soberanía política de Alemania y la UE. Esperamos poder seguir compartiendo nuestras experiencias con ustedes.

Atentamente,  
Regine Günther

### Principales conclusiones del estudio

1. Algunas de las **principales industrias desempeñan un rol estratégico** en la transformación hacia la neutralidad climática. Esta importancia estratégica se deriva del éxito de las estrategias de protección del clima, de la soberanía política de Alemania y Europa y de la seguridad del emplazamiento industrial. Entre las tecnologías fundamentales que son especialmente relevantes se encuentran:
  - Energía fotovoltaica
  - Energía eólica
  - Las baterías de iones de litio para movilidad eléctrica
  - Los imanes permanentes para movilidad eléctrica y energía eólica
  - Electrolizadores
  - Bombas térmicas
  - Plantas siderúrgicas ecológicas (hornos de reducción directa)
2. A la hora de evaluar la resiliencia, **siempre hay que tener en cuenta la cadena de suministro en su totalidad**. La cadena de suministro es tan fuerte como su eslabón más débil.
3. **En cuanto a las tecnologías fundamentales, siete materias primas se consideran críticas** en términos de extracción y procesamiento según los objetivos del estudio. **La criticidad se puede controlar mediante una actuación política decisiva**. *Estas materias primas son: grafito, iridio, cobalto, litio, manganeso y tierras raras tanto ligeras como pesadas*. Además, el **níquel** y el **polisilicio** deben recibir una atención especial como materias primas (procesadas) de criticidad media. Esto reviste especial importancia para la fase de transformación hasta 2030/35.
4. **Las inversiones dirigidas a las industrias de transformación nacionales y el asentamiento de partes especialmente críticas de las cadenas de suministro en Alemania o Europa permiten una transformación exitosa y resiliente hacia la neutralidad climática**. Esto es particularmente relevante para la industria fotovoltaica (en concreto para lingotes/oblas, vidrio solar, células/módulos), la fabricación de imanes permanentes y sus precursores (especialmente para turbinas eólicas y movilidad eléctrica) y la cadena completa de suministro de baterías de iones de litio (movilidad eléctrica), así como el desarrollo de un mercado líder para el acero ecológico.
5. **La diversificación internacional en el suministro de materias primas críticas, componentes y productos estratégicos** puede apoyarse significativamente mediante el desarrollo de alianzas que busquen la transformación, reduciendo así la concentración e interdependencia del mercado. Además, se deben establecer nuevas relaciones comerciales. Los siguientes países no pertenecientes a la UE resultan especialmente interesantes para formar alianzas transformadoras: Australia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Ghana, Indonesia, Madagascar, Malawi, Mozambique, Namibia, Sudáfrica y Zimbabue.
6. **No se prevé una contribución notable del reciclaje de materias primas al aumento de la resiliencia antes de 2030**. Sin embargo, a partir de entonces, el reciclaje de materias primas desempeñará un papel cada vez más decisivo. Por lo tanto, deberían ponerse en marcha cuanto antes el diseño adecuado para el reciclaje de los productos pertinentes, **las inversiones oportunas para aumentar la capacidad de reciclado y el desarrollo de un entorno industrial propicio**.
7. No hay que olvidar que la **reducción de la utilización intensiva de materias primas y el desarrollo de alternativas tecnológicas** constituyen un pilar importante de la política de transformación orientada a la resiliencia. Para ello, es esencial la creación de un entorno de innovación adecuado en Europa.

## Estrategias e instrumentos centrales para aumentar la resiliencia

1. **Instaurar e institucionalizar un seguimiento exhaustivo de la resiliencia.** El análisis periódico de la disponibilidad de materias primas y las relaciones de suministro con dependencias críticas a lo largo de las cadenas de suministro estratégicas son la base de las decisiones políticas sobre los cambios necesarios. Se deben examinar las opciones de estructuración para su implantación institucional.
2. **Crear mercados de venta nacionales estables para las tecnologías fundamentales transformadoras.** Esto puede lograrse garantizando un marco político estable e instrumentos de financiación fiables en Alemania y la UE. Hay que impulsar la promoción de las materias primas críticas dentro de la UE.
3. **Establecer una normativa de resiliencia.** Esto puede lograrse fijando normas, por ejemplo, relativas a los criterios de compatibilidad medioambiental y social para las medidas de financiación y en lo relativo a la importación de productos.
4. **Habilitar centrales de compra de materias primas y productos estratégicos, así como la centralización de los contratos de suministro.** Esto se puede conseguir examinando – y, dado el caso, reformando – la legislación antimonopolio, así como centralizando y asegurando los contratos de compra a través del sector público.
5. **Representar proactivamente la política nacional de asentamientos en el ámbito estratégico de las materias primas y productos.** Esto se consigue con medidas compensatorias para las industrias de transformación europeas, a fin de crear condiciones de igualdad con los competidores subvencionados de fuera de Europa. Para ello, deben fomentarse las inversiones y posibilitarse las subvenciones a los costes de explotación durante un periodo de tiempo limitado.
6. **Ampliar y reforzar en igualdad de condiciones las alianzas de transformación.** Esto puede lograrse reforzando la cooperación económica más allá de las alianzas existentes para materias primas y tecnología, fortaleciendo el valor añadido en los países socios e intensificando la cooperación en proyectos de formación e investigación.
7. **Desarrollo de capacidades en la industria del reciclado desde las fases iniciales.** Esto se consigue mediante requisitos de diseño y restricciones a la exportación de materias primas secundarias y productos primarios. Además, será necesario aplicar rigurosamente el nuevo Reglamento de la UE relativo a pilas y baterías, y la Ley Europea de Materias Primas Fundamentales.

**Entendemos por resiliencia la capacidad de resistir impactos externos o desajustes en las condiciones sociales, económicas o políticas, especialmente en lo que a inserción internacional y a adaptación a nuevas condiciones se refiere.**

# 1. Introducción

FIG. 01 **Etapas de la cadena de suministro – esquema general**

Las dificultades de abastecimiento pueden producirse a lo largo de toda la cadena de suministro.



FUENTE: Elaboración propia

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut, 2023

## 1. Introducción

Alemania ha iniciado el camino para alcanzar la neutralidad climática en 2045. Ante el cambiante entorno geopolítico, la cuestión ahora es conocer la resiliencia de las cadenas de suministro ante el desarrollo de las tecnologías de transformación.

Este estudio examina, a lo largo de toda la cadena de suministro, dónde existen grandes dependencias del exterior para el suministro de materias primas, componentes y productos estratégicos para la transformación de la economía nacional, tanto en la actualidad como en un futuro próximo, y qué medidas pueden adoptarse para aumentar la capacidad de resiliencia. Puesto que el tiempo también es un recurso escaso en el camino hacia la neutralidad climática, este documento se centra en los retos a corto y medio plazo para la resiliencia de las cadenas de valor más importantes hasta 2030 y 2035, independientemente del objetivo estratégico del año 2045.

Este estudio se basa en el estudio de referencia «Klimaneutrales Deutschland 2045 – KNDE2045» (Alemania Climáticamente Neutral 2045)<sup>1</sup>, elaborado en 2021 por Prognos, Öko-Institut y Wuppertal Institut.

Se han mantenido los supuestos básicos del estudio anterior, pero se han adaptado y actualizado los avances actuales en los ámbitos del transporte y la expansión de las energías renovables.

El estudio «Garantizar la soberanía de Alemania – Cadenas de suministro resilientes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045» examina en detalle el incremento de las materias primas, los componentes y los productos estratégicos necesarios para la transformación de los sectores con el paso del tiempo, y los compara con la oferta actual de las cadenas de suministro y su escalabilidad en periodos de cinco años: de 2020 a 2045. En esta versión abreviada del estudio se presentan de forma sintética los resultados centrales. El análisis detallado se encuentra en la versión completa.

Este estudio se centra en los retos que se plantean en las siete tecnologías fundamentales previamente mencionadas (energía fotovoltaica, eólica, baterías de iones de litio, imanes permanentes, electrolizadores, bombas térmicas y acero) derivados de una excesiva dependencia del exterior. Los temas relacionados con las infraestructuras, la ciberseguridad, la escasez de mano de obra cualificada y la burocracia, que también son relevantes para la transformación, no se han examinado en el presente estudio.

1 Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Estudio encargado por la fundación Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende y Agora Verkehrswende. Enlace: [https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2023/08/Klimaneutrales\\_Deutschland\\_2045\\_Langfassung.pdf](https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2023/08/Klimaneutrales_Deutschland_2045_Langfassung.pdf)

### 2. Riesgos en la cadena de suministro y priorización de las tecnologías fundamentales

La criticidad de las materias primas, los componentes y los productos necesarios para que la transformación alcance los objetivos de mitigación del cambio climático depende de dos factores principales. Por un lado, deben permitir reducir en gran medida los gases de efecto invernadero a corto y medio plazo (2030/2035). Su crecimiento en el mercado debe ser muy fuerte, lo que tendrá consecuencias en el desarrollo de todas las cadenas de valor implicadas. Por otro lado, existe o es previsible que exista una amenaza para la seguridad del suministro. Las razones pueden ser:

- Exceso de demanda: La demanda aumenta más rápido que la oferta.
- Poder de mercado y concentración de la oferta: Muchas materias primas o fases intermedias de las cadenas de valor se concentran en muy pocos países o solo las extraen o producen unas pocas empresas. Esto se debe a razones tanto geológicas como históricas.
- La carencia o insuficiencia de normas medioambientales y sociales puede suponer un gran reto a la hora de establecer cadenas de suministro limpias en muchos países ricos en recursos. Este aspecto no se ha investigado en el presente estudio, pero es relevante para futuros análisis relativos a la diversificación de los países proveedores.

Llegados a este punto, cabe destacar que en este trabajo se opta por una definición de criticidad que recoge criterios que van más allá de lo que se entiende por criticidad comúnmente. Esto se debe a su enfoque especial. Aquí se incluye, sobre todo, la focalización en las tecnologías para la transformación hacia la neutralidad climática y la orientación hacia futuros desarrollos de cara a 2045, con especial énfasis en el periodo que va desde la actualidad hasta 2030/2035.

El debate actual sobre la resiliencia en el contexto de la transformación hacia la neutralidad climática se reduce sobre todo a la disponibilidad de las materias primas necesarias. Pero se puede producir una situación crítica de abastecimiento a lo largo de toda la cadena de suministro: Desde la extracción y transformación de materias primas, pasando por la producción de (sub)componentes, hasta la producción de productos individuales. Esto es lo que se analiza en el estudio.

De entre más de 30 tecnologías de transformación, se identificaron siete tecnologías fundamentales mediante un proceso de selección, y se priorizaron para seguir investigándolas de acuerdo con los objetivos del proyecto.

Los siguientes criterios fueron decisivos para la selección:

- Elevado ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero hasta 2030/2035
- Fuerte crecimiento a corto plazo
- Escasas alternativas a corto plazo
- Alta concentración de la oferta de materias primas, componentes o, incluso, la producción de productos completos.

Del análisis se desprenden las siete tecnologías fundamentales:

- Energía fotovoltaica
- Energía eólica
- Las baterías de iones de litio para movilidad eléctrica
- Los imanes permanentes para movilidad eléctrica y energía eólica
- Electrolizadores
- Bombas térmicas
- Plantas siderúrgicas ecológicas (hornos de reducción directa)

## 3. Principales retos

### 3. Principales retos que plantea la resiliencia de las siete tecnologías fundamentales en la cadena de suministro

Para la evaluación de la criticidad, se analizaron tanto la demanda hasta 2045 como la evolución actual y previsible de la oferta a lo largo de toda la cadena de suministro para las siete tecnologías fundamentales: se ha investigado desde la extracción y transformación de materias primas hasta la producción de (sub)componentes y de productos individuales, tomando como base las fuentes disponibles en la actualidad. Al cotejar los resultados de la demanda con los de la oferta, fue posible clasificar las fases de las cadenas de suministro como muy críticas, críticas y moderadamente críticas<sup>1</sup> a efectos de este estudio. La figura 2 muestra los principales «puntos calientes» identificados con respecto a la resiliencia de las cadenas de suministro estratégicas.

#### Panorama general: Criticidad de las tecnologías fundamentales

**Energía fotovoltaica:** En el caso de la energía fotovoltaica basada en obleas, la extracción de la materia prima en sí no es vulnerable, pero sí existen retos significativos para la resiliencia de la cadena de valor en las fases posteriores de procesamiento. Especialmente, la producción de lingotes, obleas, vidrio solar y células fotovoltaicas, así como de módulos, es muy crítica porque la controla China en gran medida, y la UE tiene poca o ninguna capacidad de producción propia en este sector. Por su parte, la transformación de arenas de cuarzo en polisilicio es fundamental, en parte porque, aunque China tenga una cuota de mercado importante en este sector, Europa es también un productor importante de polisilicio.

**Energía eólica:** Tanto para la energía eólica (especialmente la marina) como para la movilidad eléctrica, el reto principal es la resiliencia de la cadena de suministro de imanes permanentes de tierras raras. Esta cuestión es muy crítica, ya que casi todas las fases de esta cadena de suministro se encuentran en China. En el caso de la energía eólica marina, los imanes permanentes ya se instalan en casi todas las turbinas nuevas; en cuanto a la energía eólica terrestre, la cifra ronda el 20 %.

La producción de turbinas eólicas marinas también entraña riesgos en la actualidad, ya que hay poca capacidad de producción, sobre todo para las turbinas grandes de más de 12 MW. En cambio, aún hay capacidad suficiente para la producción a medio plazo de turbinas destinadas a la energía eólica terrestre. No obstante, los bajos costes de producción de China en comparación con los de Europa pueden provocar un éxodo de los fabricantes europeos. Además, un gran número de componentes y subcomponentes proceden de empresas chinas por motivos de coste. Sin embargo, a diferencia de los imanes permanentes, aquí no hay monopolio.

**Movilidad eléctrica:** Si hablamos de movilidad eléctrica, existen grandes sectores de la cadena de suministro de células de iones de litio que también deben clasificarse como muy críticos a efectos de este estudio. El problema empieza por el suministro de materias primas, dado el rápido crecimiento de la demanda de importantes materias primas fundamentales como el litio, el níquel, el cobalto y el grafito. China desempeña un papel dominante en la transformación de materias primas (sobre todo grafito, manganeso y cobalto). Esto también se aplica a las fases posteriores, como la producción de material catódico, y aún más a la producción de material anódico. China también ocupa actualmente el primer puesto en la producción de baterías de iones de litio, seguida de Corea del Sur y Japón.

<sup>1</sup> Esta clasificación debe entenderse como específica del proyecto en el sentido de los objetivos de este trabajo. Dado que el enfoque de este trabajo es más específico que el de otras publicaciones, no sería conveniente ni significativo realizar una comparación directa con otros estudios que clasifican la criticidad de las materias primas. (especialmente la lista de la UE «Critical Raw Materials»).

FIG. 02 **Riesgos de suministro por criticidad para las tecnologías fundamentales estratégicas a lo largo de la cadena de suministro.** Los riesgos difieren según la gravedad y la causa de los posibles desabastecimientos.

	Extracción de materias primas	Transformación de materias primas	(Sub)componentes	Productos
Energía fotovoltaica		⊙ <b>Polisilicio:</b> China 79%	⊙ <b>Lingotes/Obleas:</b> China 97%	⊙ <b>Módulos:</b> China 75%
			⊙ <b>Células:</b> China 85%	
			⊙ <b>Vidrio solar</b>	
Energía eólica			⊙ Muchos componentes proceden de China	⊙ Europa cuenta actualmente con capacidad suficiente, pero con cada vez menos competitividad
Generadores y motores eléctricos (para energía eólica y movilidad eléctrica)	⊙ <b>Tierras raras ligeras:</b> China 58 %	⊙ <b>Tierras raras ligeras:</b> China 87 %	⊙ <b>Imanes permanentes:</b> China 94 %	
	⊙ <b>Tierras raras pesadas:</b> China / Birmania: 100 %	⊙ <b>Tierras raras pesadas:</b> China 100 %		
Movilidad eléctrica Baterías de iones de litio	⚡ <b>Litio</b>	⚡ <b>Litio</b>	⊙ <b>Material catódico:</b> China 71 %	⚡ <b>Células de batería</b>
	⚡ <b>Cobalto:</b> Congo 72 %	⊙ <b>Cobalto:</b> China 75 %		
	⊙ <b>Manganeso:</b> Sudáfrica 36 %	⊙ <b>Manganeso:</b> China 95 %		
	⊙ <b>Níquel:</b> ⚡ Indonesia 38 %	⊙ <b>Níquel:</b> China 55 %		
	⊙ <b>Grafito:</b> China 73 %	⊙ <b>Grafito:</b> China 100 %	⊙ <b>Material anódico:</b> China 91 %	
Electrolizadores	● <b>Iridio (PEMEL):</b> ⊙ No se puede ampliar la producción. Sudáfrica 85 %			
	⊙ <b>Escandio (HTEL, solo después de 2030/35)</b>			
Bombas térmicas			⊙ <b>Compresores</b> (parcialmente con imanes permanentes)	
Acero verde	<b>Minerales de hierro</b> con calidad de reducción directa			⊙ <b>Construcción</b> de instalaciones de reducción directa (hornos DRI)

LEYENDA ⊙ Concentración y poder de mercado ⚡ Exceso de demanda a corto/medio plazo ● Escasez permanente  
Criticidad: ■ Muy crítica ■ Crítica ■ Moderadamente crítica

FUENTE Elaboración propia NOTA Cobre, titanio, galio, germanio, itrio y platino: según la investigación de este estudio, estas materias primas son estratégicamente relevantes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045, pero no críticas.

### 3. Principales retos

**Electrolizadores:** En el caso de los electrolizadores, el principal reto lo plantean los electrolizadores PEM. El suministro de suficiente iridio en el futuro será un factor muy crítico. Esto se debe a que no se puede aumentar la explotación minera de iridio, ya que está presente en concentraciones muy bajas y se extrae exclusivamente en combinación con otros metales, especialmente el platino (gran concentración de este elemento en Sudáfrica). Dado que el futuro aumento de la extracción de platino no es realista, no se espera que aumente la oferta de iridio. También se descarta la explotación de otros yacimientos naturales de iridio para aumentar la producción.

**Bombas térmicas:** El principal reto de las bombas térmicas, al igual que en el caso de los vehículos eléctricos y las turbinas eólicas marinas, es el uso de imanes permanentes fabricados con tierras raras, algunos de los cuales se instalan en los motores eléctricos de los compresores y las bombas de circulación. Sin embargo, actualmente no se dispone de datos sobre qué porcentaje de bombas térmicas se construye con imanes permanentes y qué porcentaje con electroimanes. Es necesario seguir investigando al respecto. Sin embargo, en comparación con otras tecnologías fundamentales y sus componentes, los riesgos de suministro de las bombas térmicas son significativamente menores.

**Acero:** Para el acero, el principal obstáculo es la construcción de hornos de cuba para la reducción directa (DRI) con hidrógeno (o, en su defecto, gas natural), ya que existen pocos proveedores. En parte, también hay riesgos para la obtención de minerales de hierro con un alto contenido de este metal.

A continuación, las materias primas, componentes y productos que se han examinado en este estudio se clasifican en función de su criticidad. En el caso de las materias primas, distinguimos entre su extracción y su transformación

#### Criticidad en la extracción de materias primas

##### Muy críticas: Litio, tierras raras pesadas e iridio

Sobre la base de todas las tecnologías examinadas en profundidad, las siguientes materias primas se clasifican como muy críticas a nivel de extracción (minería): litio (baterías de iones de litio), tierras raras pesadas (imanes permanentes para alta mar y movilidad eléctrica) e iridio (electrolizadores PEM).

- **Litio:** En el caso del litio, el principal reto es el fuerte aumento de la demanda mundial (exceso de demanda). La ampliación de las minas existentes, la puesta en marcha de otras nuevas y la extracción de litio en lagos salados requieren plazos más o menos largos. Por lo tanto, en el caso del litio, la dimensión temporal resulta decisiva para su clasificación.
- **Tierras raras pesadas:** Las tierras raras pesadas, como el disprosio y el terbio, solo se extraen actualmente en China y, en menor medida, en Birmania. Esta gran concentración de tierras raras pesadas en China, combinada con el hecho de que solo se encuentran en concentraciones muy bajas en muchos yacimientos naturales del mundo (aunque no en todos), justifica esta clasificación.
- **Iridio:** En la actualidad, el volumen de extracción minera de iridio es de 6 a 10 toneladas anuales, y no se puede aumentar porque se extrae exclusivamente en combinación con otros elementos, sobre todo el platino (en Sudáfrica hay una concentración muy elevada de este metal). Dado que el futuro aumento de la extracción de platino no es realista, no se espera que aumente la oferta de iridio. También se descarta la explotación de otros yacimientos naturales de iridio para aumentar la producción.

### **Críticas: Níquel, cobalto, grafito y tierras raras ligeras**

Según las investigaciones de este estudio, las materias primas clasificadas como críticas a nivel de extracción (minería) son el níquel, el cobalto, el grafito y las tierras raras ligeras. Se espera un crecimiento significativo de la demanda de todas estas materias primas en los próximos años. Sin embargo, a diferencia de las materias primas consideradas muy críticas en el punto anterior, existen diferentes razones que justifican la clasificación de estas materias (véase a continuación), a pesar de su gran importancia:

- **Níquel:** La producción minera mundial está muy repartida por muchos países, aunque Indonesia está consolidando su posición de liderazgo. El aumento de la demanda de níquel puede verse atenuado, al menos parcialmente, debido a la creciente cuota de mercado de las baterías de iones de litio sin níquel (baterías LFP).
- **Cobalto:** La RD del Congo tiene una cuota muy importante de la producción mundial de cobalto. Sin embargo, Indonesia, que pronto será el segundo productor minero más importante, se está adaptando al mercado ampliando la producción (en yacimientos donde se encuentra combinado con el níquel). El aumento de la demanda de cobalto se frenará a medio plazo debido al incremento del uso de baterías de iones de litio sin cobalto o con bajo contenido en cobalto.
- **Grafito:** China desempeña un papel dominante en la extracción de grafito natural. Sin embargo, el uso de grafito sintético proporciona una vía alternativa. Por otra parte, las reservas de grafito natural están repartidas por varios países y es posible que aumente la oferta procedente de ellos.
- **Tierras raras ligeras:** China sigue siendo el país con mayor producción minera de tierras raras ligeras, pero presenta una clara tendencia a la baja en los últimos años. Las tierras raras ligeras se encuentran en yacimientos naturales en muchos países (Australia, Estados Unidos, Canadá, etc.) y cada vez se extraen más para hacer frente al gran aumento de la demanda.

### **Moderadamente críticas: Manganeso, escandio y minerales de hierro en calidad DRI**

A efectos del presente estudio, el manganeso, el escandio y los minerales de hierro (calidad DRI) se clasifican como moderadamente críticos a nivel de extracción de materias primas (minería). Las razones varían y se explican en las secciones correspondientes.

Según los estudios, el cobre, el titanio, el galio, el germanio, el itrio y el platino no son materias primas críticas, pero sí son estratégicamente relevantes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045. Los detalles al respecto se desarrollan en los capítulos correspondientes en la versión completa del estudio.

### **Criticidad en la transformación de materias primas**

#### **Muy críticas: Transformación de tierras raras ligeras y pesadas, cobalto, manganeso, grafito**

Para el nivel de transformación de materias primas, la clasificación en muy críticas, críticas y moderadamente críticas difiere del nivel de extracción de materias primas. La transformación de tierras raras ligeras y pesadas, así como de cobalto, manganeso y grafito, se clasifica en este caso como muy crítica. Las razones de la clasificación son las mismas en todos los casos: el gran dominio de China en un contexto de fuerte crecimiento de la demanda mundial.

### 3. Principales retos

#### **Críticas: Transformación de polisilicio, litio, níquel**

Para el polisilicio, el litio y el níquel<sup>2</sup>, la transformación de las materias primas se clasifica como de criticidad media. Aunque China ocupa una posición de liderazgo en este ámbito, otros países también tienen cuotas de mercado relevantes.

#### **Criticidad en la fabricación de (sub)componentes**

##### **Muy críticas: Lingotes, obleas, células para energía fotovoltaica, imanes permanentes para energía eólica marina y motores eléctricos, así como material anódico para baterías de iones de litio destinadas a la movilidad eléctrica**

En el nivel de producción de (sub)componentes, la producción de lingotes, obleas y células para la energía fotovoltaica basada en obleas, la producción de imanes permanentes para la energía eólica y la movilidad eléctrica y la producción de material anódico (para baterías de iones de litio) para la movilidad eléctrica se clasifican como muy críticas. En todos los casos, la justificación se basa en el enorme poder de mercado de China.

#### **Críticas: Material catódico para baterías de iones de litio**

Por otro lado, la producción de material catódico (para baterías de iones de litio) se clasifica como crítica para el nivel de producción de (sub)componentes. China también es líder en este ámbito, pero Corea del Sur, Japón, Estados Unidos y la UE también están adquiriendo papeles relevantes.

<sup>2</sup> A nivel de transformación, el litio es carbonato de litio e hidróxido de litio hidratado, mientras que el níquel es sulfato de níquel.

#### **Criticidad de los productos**

A nivel de productos, los módulos fotovoltaicos se clasifican como muy críticos. Si bien es cierto que la cuota de mercado de China en la producción mundial es algo menor aquí que en los otros casos y que en Europa actualmente hay más capacidad de fabricación de módulos que de células, los módulos fabricados en Europa dependen en gran medida de la importación de células chinas. Por lo tanto, la producción de módulos también se clasifica como muy crítica en este estudio. La producción de células de baterías se clasifica como crítica debido al fuerte crecimiento mundial de la demanda y a la sólida posición de China.

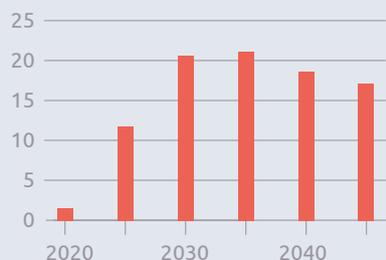
#### **Demanda de materias primas críticas para Alemania hasta 2045**

El estudio muestra que para las siete tecnologías fundamentales centrales, tres materias primas se evalúan como muy críticas (litio, tierras raras pesadas, iridio) y cuatro materias primas (níquel, cobalto, grafito, tierras raras ligeras) como críticas. Otro resultado clave de este estudio es la estimación de la demanda de Alemania de estas materias primas muy críticas y críticas en periodos de 5 años, ya que son necesarias para las tecnologías fundamentales estratégicas hasta el año 2045. La demanda se basa en las vías de expansión del escenario «Alemania Climáticamente Neutral 2045» (KNDE2045) y en las hipótesis sobre el desarrollo de las vías tecnológicas concretas de cada una de las tecnologías fundamentales. El escenario KNDE2045 se ha actualizado en algunas cuestiones relativas a la expansión de las energías renovables y la movilidad eléctrica. Además, se barajaron dos escenarios en el sector del transporte: el escenario KNDE2045 se basa en las nuevas matriculaciones calculadas en el estudio «Alemania Climáticamente Neutral 2045», es decir, solo tiene en cuenta las cantidades necesarias para satisfacer la demanda interna.

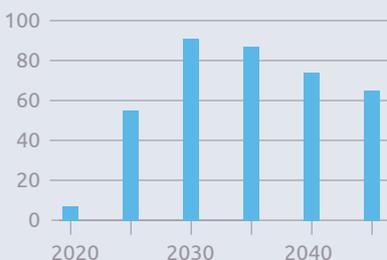
**FIG. 03 Riesgos de suministro de materias primas críticas en tecnologías estratégicas clave.** Las tres materias primas clasificadas como muy críticas (litio, tierras raras pesadas, iridio) y las cuatro materias primas clasificadas como críticas (níquel, cobalto, grafito, tierras raras ligeras) alcanzarán su demanda máxima en 2030/2035.

#### A. Baterías de iones de litio para vehículos

##### Litio (kt/a)

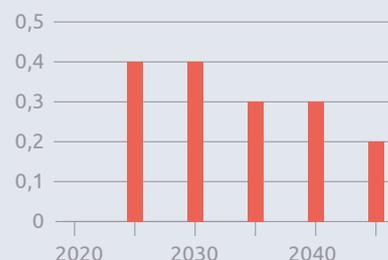


##### Níquel (kt/a)

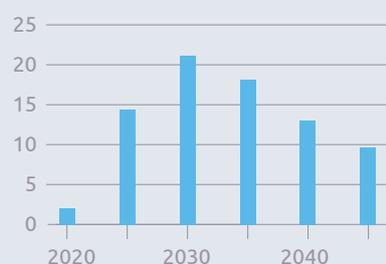


#### B. Electrolizadores (PEM)

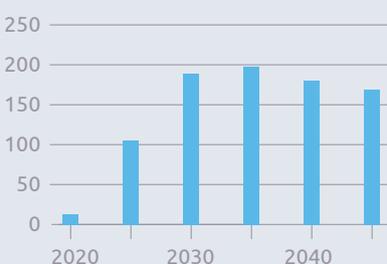
##### Iridio (t/a)



##### Cobalto (kt/a)



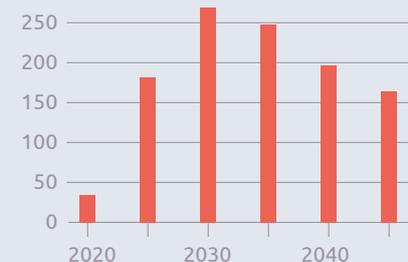
##### Grafito (kt/a)



#### C. Imanes permanentes para motores de vehículos y generadores de turbinas eólicas

##### Tierras raras pesadas: Disproseo, terbio (t/a)

###### Vehículos

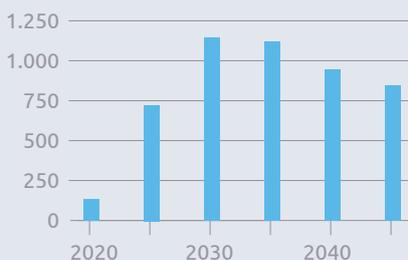


###### Energía eólica

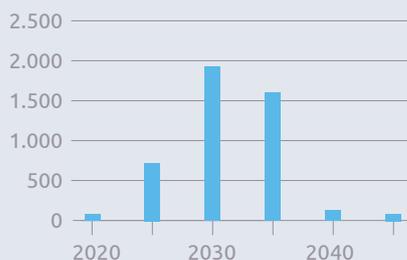


##### Tierras raras ligeras: Neodimio, praseodimio (t/a)

###### Vehículos



###### Energía eólica



### 3. Principales retos

En este estudio, el manganeso (baterías de iones de litio) y el escandio (electrolizadores de alta temperatura) se clasifican como moderadamente críticos. Cobre, titanio, galio, germanio, itrio y platino: según las investigaciones que se han llevado a cabo en este estudio, estas materias primas son estratégicamente relevantes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045, pero no son críticas. A la hora de calcular la demanda de iridio, se partió de una reducción de su uso de hasta el 90 % en comparación con la actualidad.

La Figura 3 muestra de un modo muy ilustrativo las cantidades necesarias de aquí a 2045 para satisfacer la demanda de las siete materias primas fundamentales clasificadas como críticas o muy críticas: litio, cobalto, níquel y grafito (materias primas para baterías), tierras raras ligeras y tierras raras pesadas (imanes permanentes en vehículos eléctricos y turbinas eólicas), así como de iridio (electrolizadores PEM).

Todas estas materias primas alcanzarán su máxima demanda entre 2030 y 2035. La razón principal es la rápida expansión de las tecnologías fundamentales en los próximos diez años. A partir de 2035, la expansión de la mayoría de las tecnologías (por ejemplo, la fotovoltaica basada en obleas o los vehículos eléctricos) se estancará o incluso entrará en declive (la eólica marina). Además, el aumento de la eficiencia de los materiales puede reducir la demanda específica de materias primas por central. Este efecto es especialmente notable en los electrolizadores PEM. A diferencia de las otras tecnologías mencionadas, la demanda de las centrales seguirá aumentando después de 2030. Sin embargo, la reducción prevista del uso de materias primas en un 90 % aprox. hará que disminuya la demanda total.

El aumento de la demanda hasta 2030 pone de manifiesto la necesidad de tomar medidas urgentemente. Esto no solo se aplica a las siete materias primas clasificadas como críticas o muy críticas, sino también a sus cadenas de suministro posteriores para la producción de baterías de iones de litio, imanes permanentes y electrolizadores PEM.

## 4. Estrategias y medidas dirigidas a una transformación resiliente para lograr la neutralidad climática en 2045

Tras analizar en la sección anterior en qué fases de las cadenas de suministro de las tecnologías fundamentales estratégicas se encuentran los mayores riesgos de suministro, esta sección presenta posibles medidas para aumentar la seguridad del suministro y reforzar la resiliencia.

Entre ellas figuran, entre otras, las siguientes medidas orientadas a la demanda y a la oferta:

- **Aumento de la producción en Europa:** Esta medida afecta en principio a todas las etapas de creación de valor. Debido a la limitada disponibilidad geológica de la mayoría de las materias primas críticas, el fortalecimiento de la minería europea solo es posible en algunos casos. Por lo tanto, esta medida es especialmente eficaz en las etapas posteriores de creación de valor.
- **Diversificación de los países socios:** Esta medida es especialmente eficaz en caso de riesgo de suministro de materias primas. Las propuestas de priorización de países se hacen partiendo del supuesto de que el análisis revele oportunidades viables de colaboración con Alemania o la UE en materia de materias primas y tecnología. Los criterios esenciales para ello son:
  - Reservas:** Existen reservas suficientes y, en el mejor de los casos, los proyectos de extracción ya se han iniciado a nivel local o se encuentran en una fase avanzada (componente temporal).
  - Experiencia:** Se priman los países con experiencia en minería y transformación, como Canadá, Australia, Brasil o Chile, ya que allí los proyectos pueden realizarse más rápidamente en caso de duda: las autoridades locales tienen más experiencia, hay más mano de obra cualificada, etc.
  - Infraestructura:** Existen o se están desarrollando suficientes infraestructuras de transporte. Los puertos marítimos con las capacidades correspon-

dientes son muy importantes en este sentido. Por eso, los lugares de almacenamiento cercanos a la costa y con buenas conexiones con las infraestructuras viarias y/o ferroviarias resultan especialmente atractivos.

**Relaciones:** En la actualidad, los países mencionados mantienen buenas relaciones políticas con Alemania y la UE, o al menos están abiertos a estrechar sus relaciones económicas.

**Ausencia de guerras o crisis:** No se incluyen los países declarados en guerra o en crisis.

- **Reciclado de materias primas críticas:** Estas medidas, con algunas excepciones, como el reciclado de los residuos procedentes de la producción de baterías, solo tienen efecto a largo plazo, ya que muchas tecnologías permanecen en el mercado durante varias décadas después de su puesta en circulación antes de estar disponibles para su reciclado.
- **Reducción del uso de materias primas:** Esto se puede conseguir a través de la investigación y el desarrollo, o mediante la automatización y el desarrollo de la capacidad industrial. Esta medida reduce la demanda interna y suele tener efecto a medio y largo plazo.
- **Tecnologías alternativas:** Cambio a tecnologías con menor demanda de materias primas críticas: por ejemplo, uso de baterías LFP sin níquel, manganeso ni cobalto.

A continuación se resumen las medidas y estrategias más importantes para una transformación resiliente hacia la neutralidad climática en 2045 en relación con las tecnologías fundamentales identificadas. Encontrará información detallada al respecto en la versión completa de este estudio.

## 4. Estrategias y medidas

### 4.1 Energía fotovoltaica

**Aumento de la producción en Europa:** La medida más importante en el sector fotovoltaico se basa en el desarrollo de nuestra propia capacidad productiva a lo largo de toda la cadena de suministro en Europa. Según la Net-Zero Industry Act, en 2030 al menos el 40 % de la producción deberá ser interna, es decir, se deberá llevar a cabo en Europa. El mayor obstáculo es el menor coste de producción (hasta un 30 %) en Estados Unidos y China, debido a las elevadas subvenciones públicas.

**Reciclaje:** En cuanto al reciclaje, el potencial será mayor únicamente a partir de 2035 y 2040, ya que los módulos tienen una larga vida útil y solo estarán disponibles en cantidades significativas para su reciclaje a largo plazo. Actualmente, los procesos de reciclaje para la recuperación de polisilicio y vidrio solar se encuentran en fase de desarrollo y prueba.

**Diversificación de los países proveedores:** Por otra parte, el potencial de diversificación es difícil de prever, ya que las posibles capacidades, en EE. UU. e India, por ejemplo, apenas están empezando a desarrollarse y es muy probable que primero se cubra la demanda interna.

**Reducción del uso de materias primas:** La reducción del uso de materiales funciona en el caso de las materias primas, pero no resuelve la cuestión del poder de mercado en la cadena de suministro posterior.

**Tecnologías alternativas:** Además de los módulos fotovoltaicos basados en obleas, se podrían utilizar tecnologías alternativas. Ahora bien, en el caso de los módulos de capa fina, su baja eficiencia es incompatible con unas cuotas de mercado elevadas. Las células de perovskita u orgánicas aún están en fase de desarrollo, por lo que no pueden contribuir a la resiliencia a corto plazo.

### 4.2 Energía eólica

**Mantener la producción en Europa:** En cuanto a la fabricación de turbinas eólicas, la Net-Zero Industry Act establece que el 85 % de ellas se fabriquen en Europa en 2030. En principio, este objetivo puede alcanzarse porque, a diferencia de la energía fotovoltaica, en Europa

ya existe actualmente una base industrial importante. La medida más importante para mantener la elevada cuota de producción europea es apoyar la ampliación de las instalaciones de fabricación, así como el aumento de la capacidad, especialmente en el rango de potencia superior a 12 MW para el sector de la energía eólica marítima. Hasta ahora, la capacidad de fabricación de grandes turbinas marinas ha sido bastante limitada, por lo que debe ampliarse cuanto antes.

Por otra parte, la implantación de una cadena europea de suministro de imanes permanentes es fundamental para aumentar la capacidad de resiliencia (véase la SECCIÓN 4.4 Imanes permanentes).

**Tecnologías alternativas y reducción del uso de materias primas:** El uso de engranajes en los imanes permanentes podría reducir en torno a un 65 % la necesidad de tierras raras. Sin embargo, esto reduce la eficiencia de las centrales y podría provocar un aumento de los costes globales y, por tanto, un debilitamiento aún mayor de los fabricantes europeos, que ya tienen importantes desventajas económicas con respecto a los proveedores chinos.

**Reciclaje:** El reciclaje de tierras raras procedentes de imanes permanentes solo será relevante a partir de 2035 debido a la vida útil de las centrales.

### 4.3 Baterías de iones de litio

**Aumento de la producción en Europa:** Según el proyecto de Ley Europea de Materias Primas Fundamentales, el 10 % de las materias primas y el 40 % de las materias primas transformadas deberán estar cubiertas por la capacidad de producción europea en 2030. Además, el objetivo sectorial de la UE exige que en 2030 se fabriquen en Europa alrededor del 90 % de las células de batería necesarias. La extracción de litio (Alemania, Finlandia, Francia, etc.), níquel y cobalto (Finlandia) y grafito (Noruega) en Europa será posible a medio plazo, a partir de 2026 aproximadamente. En Alemania, Polonia y Finlandia se crearán instalaciones de refinado de litio a partir de 2024. Ya existen proyectos para la producción de material catódico en Alemania y Polonia. En lo que respecta a las gigafactorías, en numerosos Estados de la

UE (Hungria, Polonia, Alemania, Francia, Suecia, etc.) se están diseñando o construyendo grandes plantas para la producción de células de iones de litio (un total de 35 GWh), o ya están en funcionamiento. Si se llevan a cabo la mayoría de los proyectos, en 2030 se podría alcanzar en Europa una capacidad de producción de más de 1000 GWh al año.

**Diversificación de los países proveedores:** En el caso de las materias primas, los materiales activos y las células de las baterías, especialmente las células de fosfato de hierro y litio (LFP), resulta necesaria, y también posible, una mayor distinción de los países proveedores. Deben reforzarse las alianzas existentes, como la asociación UE-Chile, y establecerse nuevas cooperaciones con Australia, Canadá, Ghana, Namibia y otros países.

**Reciclaje:** El reciclaje de baterías de iones de litio será cada vez más relevante para el suministro en un plazo de 5 a 15 años. Las bases se sentaron con el nuevo Reglamento europeo relativo a pilas y baterías, que pronto entrará en vigor. Se necesitan grandes inversiones en toda la infraestructura de reciclaje de baterías de iones de litio en Alemania y la UE, que ya han comenzado para aprovechar de forma óptima el enorme potencial de reciclaje de litio, cobalto, níquel, etc. a medio y largo plazo.

**Tecnologías alternativas:** Por ahora (y al menos hasta 2030/2035), las baterías de iones de litio se mantendrán como la tecnología dominante para las baterías de tracción de los vehículos eléctricos. Las alternativas tecnológicas, como las baterías de iones de sodio, aún requieren tiempo de desarrollo y fabricación. Aún no es posible hacer una previsión fiable del potencial real del mercado en el futuro.

**Reducción del uso de materias primas:** Si hablamos de productos, se puede lograr una reducción de la necesidad de materias primas críticas para las baterías incorporando baterías más pequeñas (evitando así las de mayor tamaño para hacer frente a la «Range anxiety» o miedo a quedarse sin batería en medio de un trayecto, a menudo excesivo). Además, también se puede reducir el número de vehículos (promoviendo el transporte público). Otra opción podría ser el uso de vehículos más pequeños y ligeros con un menor consumo de energía.

#### 4.4 Imanes permanentes

**Aumento de la producción en Europa:** La Alianza Europea de Materias Primas (ERMA) ha fijado el ambicioso objetivo de alcanzar el 20 % de autosuficiencia en 2030 en la UE para el mercado de imanes permanentes (imanes de neodimio, hierro y boro), que experimenta un fuerte crecimiento. Los principales retos son los conocimientos técnicos y la ventaja de costes de las empresas chinas, así como la capacidad de las empresas y la mano de obra cualificada en Europa. A este respecto, el desarrollo en Europa debe ser rápido. El lanzamiento de un proyecto de inversión financiado por la UE en Estonia (fábrica de imanes con fases de producción previas) ha supuesto un paso importante.

**Diversificación de los países proveedores:** Dado que es previsible que Europa dependa en un futuro de las importaciones de materias primas, productos intermedios y productos estratégicos para la cadena de valor de los imanes permanentes, una medida clave es la creación de una estructura de países proveedores más diversificada. En este sentido, Alemania y Europa deberían reforzar las alianzas de transformación (cooperación tecnológica y en materias primas) con los países adecuados, tanto del Norte Global (especialmente Canadá y Australia) como del Sur (por ejemplo, Namibia, Malawi, Colombia).

**Reciclaje:** Hasta 2030, el potencial de reciclado será muy limitado. Sin embargo, se incrementará considerablemente a partir de 2030, al principio debido a los vehículos que llegan al final de su vida útil y algo más tarde por las centrales eólicas que se dejarán de utilizar. El reciclaje de imanes permanentes y tierras raras sigue siendo un campo de investigación y desarrollo que hay que fomentar. Se ha anunciado que las primeras pequeñas plantas de reciclaje de imanes permanentes en Reino Unido y Alemania empezarán a funcionar en 2024. El reciclaje de imanes permanentes es una opción prometedora, ya que contienen un 30 % en peso de tierras raras, que se necesitan para la fabricación de imanes nuevos. Ningún yacimiento de recursos naturales del mundo ofrece esta situación inicial.

## 4. Estrategias y medidas

**Tecnologías alternativas:** En el mercado ya existen motores eléctricos para vehículos que funcionan sin imanes permanentes. No obstante, dadas las ventajas tecnológicas que ofrecen los motores eléctricos con imanes permanentes (menor peso y volumen y mayor eficiencia eléctrica), las alternativas apenas consiguen hacerse un hueco en el mercado. Por esta razón, los expertos les auguran un potencial moderado a medio y largo plazo. En cuanto a los parques eólicos, las turbinas sin engranajes con imanes permanentes presentan claras ventajas, especialmente en el caso de los parques eólicos marinos que son muy grandes. Por lo tanto, en este sector tampoco cabe esperar una disminución en el uso de imanes permanentes y, por consiguiente, de tierras raras.

**Reducción del uso de materias primas:** La reducción del uso de tierras raras pesadas en aleaciones magnéticas ya se ha aprovechado en gran medida. Incluso a largo plazo, el potencial de crecimiento es limitado.

### 4.5 Electrolizadores

**Reducción del uso de materias primas:** Reducir las necesidades específicas de iridio para los electrolizadores PEM es, con diferencia, el objetivo estratégico más importante. Con ayuda de I+D y procesos innovadores, el uso de iridio podría reducirse hasta un 90 %.

**Aumento de la producción en Europa:** Según los objetivos del plan RePowerEU, para 2025 se deberán haber aumentado las capacidades de fabricación de electrolizadores de unos 17,5 GW (en términos de producción de hidrógeno y poder calorífico). Hasta la fecha, la escasa demanda de electrolizadores de hidrógeno se ha satisfecho mediante la fabricación y la producción a pequeña escala. Para responder al rápido aumento de la demanda, es imprescindible desarrollar una gran industria de electrólisis con producción en serie, un alto grado de automatización y el aprovechamiento de las economías de escala. El previsible aumento de la capacidad de producción ya se está haciendo patente. Ahora hay que asegurarse de que los proyectos anunciados se lleven a cabo y se incrementen aún más.

**Diversificación de los países proveedores:** La producción de iridio está concentrada sobre todo en Sudá-

frica, seguida, a cierta distancia, por Zimbabue y Rusia. Una diversificación de los países proveedores apenas aumentaría la resiliencia. Esto se debe a que el principal problema no es la concentración en pocos países, sino la improbabilidad de que aumente la producción mundial. El iridio solo se extrae como subproducto (en muy baja concentración) de los yacimientos de platino.

**Reciclaje:** El reciclaje de las materias primas fundamentales de los electrolizadores usados (especialmente el iridio, el platino y el titanio) es solo una perspectiva a largo plazo, aunque ya se puede empezar a tener en cuenta. En Alemania ya se están llevando a cabo investigaciones al respecto.

**Tecnologías alternativas:** Los electrolizadores alcalinos (AEL), como posible alternativa a los electrolizadores PEM, tienen una cuota de mercado actual del 70 %, y no utilizan materias primas críticas como el iridio. Sin embargo, debido a su menor eficiencia, necesitan más electricidad y funcionan con menos flexibilidad, especialmente en sistemas eléctricos con una cuota muy elevada de energías renovables. Otras alternativas serían los electrolizadores de alta temperatura o los electrolizadores de membrana de intercambio aniónico; sin embargo, se encuentran en fase piloto y su futura entrada al mercado es aún incierta. Además, los electrolizadores de alta temperatura necesitan escandio, el 75 % del cual se extrae actualmente en China. En este caso, sin embargo, sería posible una diversificación del suministro procedente de países como EE. UU. y Canadá, y también de la propia UE (Finlandia, Suecia, Grecia).

### 4.6 Bombas térmicas

**Aumento y mantenimiento de la producción en Europa:** Hoy ya hay 19 GW de capacidad de fabricación en Europa. De acuerdo con los objetivos de la Net-Zero Industry Act, al menos el 85 % de las instalaciones nuevas deberán haberse fabricado en Europa para 2030. Esto implica una capacidad de producción de unos 31 GW y un aumento del 50 % con respecto a la actualidad. En general, los fabricantes esperan un crecimiento significativo del mercado en Europa y, en consecuencia, están incrementando sus capacidades. Para garantizar este au-

mento y las inversiones, es importante que existan unas condiciones marco fiables para la reducción de los gases de efecto invernadero en el sector de la construcción. Para las perspectivas alemanas hasta 2030, son cruciales la Ley de Energía de los Edificios («Gebäudeenergiegesetz», GEG) y un aumento de la tarificación del carbono que sea factible para todas las partes interesadas.

**Tecnologías alternativas, diversificación:** En los motores de compresores y bombas de circulación pueden utilizarse electroimanes (motores de inducción) en lugar de imanes permanentes. Se debe investigar en qué medida pueden compensarse las desventajas de los motores de inducción (eficiencia algo más baja, mayor nivel de ruido) mediante un mayor desarrollo técnico. Hasta ahora, el tema de los imanes permanentes en las bombas térmicas apenas se ha investigado desde un punto de vista científico.

Además, el establecimiento de una cadena europea de suministro de imanes permanentes es fundamental para aumentar la resiliencia (véase el CAPÍTULO 4.4 Imanes permanentes).

#### 4.7 Acero

**Aumento y mantenimiento de la producción en Europa:** Para poder construir hornos de cuba para la reducción directa con hidrógeno (plantas DRI) en Alemania, es esencial actuar con rapidez ante los cuellos de botella en el suministro para la construcción de instalaciones. Los responsables políticos pueden apoyar esta evolución mediante el desarrollo de infraestructuras con proyección de futuro y ayudas financieras, como complemento del Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM), además de respaldar la puesta en marcha de un mercado líder para el acero verde.

**Reciclaje:** Un mayor suministro de materias primas secundarias nacionales es el mejor modo de evitar la dependencia de las importaciones en el sector siderúrgico. Pero para ello hay que mejorar la clasificación de los residuos, sobre todo en la industria automovilística.

**Diversificación de los países proveedores:** Sin embargo, Alemania debería preocuparse también por un suministro seguro de DRI a través de las importa-

ciones; para ello podría respaldar la consolidación de relaciones de suministro o de mercados líquidos, por ejemplo, mediante la protección crediticia. Suscribir contratos fijos de suministro de DRI ecológico con Suecia es una posibilidad. Las oportunidades de diversificación deberían surgir a medio plazo, en cuanto los proyectos de la península ibérica, Australia, Brasil o África cobren impulso. Desde el punto de vista de la eficiencia, sería preferible contar con mercados mundiales líquidos proveedores de DRI ecológico, sin embargo, no hay certeza de que puedan emerger con solidez, teniendo en cuenta las medidas proteccionistas que se aplican al sector siderúrgico.

#### 4.8 Conclusión

Para todas las tecnologías fundamentales prioritarias, las medidas pertinentes para aumentar la resiliencia podrían resumirse en las cinco que se mencionan a continuación.

##### Aumento de la producción en Europa

La reubicación o el asentamiento de la cadena de valor en Alemania y Europa es esencial para muchas partes de la cadena de valor fotovoltaica. El principal objetivo es reforzar las cuotas de mercado en las fases de producción de lingotes, obleas, células y módulos para la tecnología fotovoltaica basada en obleas, dominante en el mercado. Europa tiene actualmente muy poca capacidad de producción en estos ámbitos y, para aumentar la resiliencia y reducir la dependencia, es estratégicamente indispensable incrementar de forma significativa la capacidad de producción en la UE de aquí a 2030.

En el caso de la cadena de valor de las baterías de iones de litio (movilidad eléctrica), ya se ha iniciado el desarrollo necesario de una cadena de valor europea mediante la promoción de las «gigafactorías» (por parte de la UE, el Gobierno Federal de Alemania, etc.) y de las fases previas (refinerías de litio, producción de material catódico, etc.). A pesar de los retos actuales, como la Ley de Reducción de la Inflación (Inflation Reduction Act, IRA) de EE. UU., estas actividades deben continuar

## 4. Estrategias y medidas

**TABLA 01 Países socios potenciales para crear y profundizar alianzas industriales y de inversión transformadoras**, para asegurar y procesar materias primas clave para la transformación hacia la neutralidad climática.

Países socios potenciales	Materias primas	Observaciones
<b>Australia</b>	Litio, tierras raras ligeras y pesadas, níquel, cobalto	La minería del litio y de las tierras raras está muy avanzada.
<b>Brasil</b>	Grafito, litio, manganeso	Minería o explotación de residuos mineros (litio).
<b>Canadá</b>	Litio, níquel, cobalto, tierras raras	Se va a ampliar la producción de litio, que hasta ahora ha sido muy escasa. Los proyectos de minería de tierras raras están en planificación y construcción.
<b>Chile</b>	Litio, cobre	La producción de litio y cobre es importante. Se prevé ampliar la de litio.
<b>Colombia</b>	Tierras raras, níquel	Se prevé ampliar la producción de níquel; reservas de tierras raras.
<b>Ghana</b>	Litio	Aún no hay producción minera, pero el proyecto está en fase de planificación.
<b>Indonesia</b>	Cobre, níquel, cobalto	La producción actual de níquel y cobalto se va a ampliar considerablemente.
<b>Madagascar</b>	Grafito	Existen explotaciones mineras.
<b>Malawi</b>	Tierras raras ligeras y pesadas	Aún no hay producción minera; el proyecto minero está en fase de planificación.
<b>Mozambique</b>	Grafito	Existen explotaciones mineras.
<b>Namibia</b>	Tierras raras ligeras y pesadas, litio	Aún no hay producción minera; los proyectos están en fase de planificación y construcción.
<b>Sudáfrica</b>	Manganeso, iridio, platino	Productor minero más importante de las tres materias primas.
<b>Zimbabue</b>	Iridio, platino	Hay producción minera, pero muy inferior a la de Sudáfrica.

FUENTE Elaboración propia del Öko-Institut basada en (U.S. Geological Survey, 2023)

Öko-Institut, 2023

y extenderse a la extracción de materias primas en Alemania y la UE (en este caso, la atención se centra sobre todo en el litio).

Del mismo modo, debe fijarse el rumbo de las capacidades de producción europeas tanto para la cadena de valor de los imanes permanentes (procesamiento de tierras raras, producción de metales de tierras raras y producción de imanes de neodimio, hierro y boro) como para las capacidades de producción de electrolizadores y acero DRI.

### **Diversificación de los países socios:**

La diversificación de los países proveedores (no pertenecientes a la UE) es el segundo pilar para aumentar la capacidad de resiliencia<sup>3</sup>, especialmente para el suministro de materias primas y productos intermedios. Por un lado, es absolutamente esencial reforzar la cooperación económica con socios consolidados como Chile (litio, cobre), Canadá (litio, níquel, tierras raras), Aus-

3 Los criterios generales para dar prioridad a los países proveedores no pertenecientes a la UE se enumeran al principio de este capítulo.

tralia (litio, tierras raras, níquel, cobalto) y Brasil (grafito, litio, manganeso). Por otro lado, el establecimiento de nuevas alianzas en cuanto a materias primas y tecnología con países del hemisferio sur es muy recomendable para seguir mejorando la diversificación de los países proveedores. Algunos ejemplos importantes de posible cooperación en un futuro son Ghana (litio), Indonesia (níquel, cobalto), Namibia (tierras raras, litio), Malawi (tierras raras) y Colombia (tierras raras, níquel). La tabla (que no es exhaustiva) cita ejemplos de potenciales países proveedores de materias primas fundamentales. También conviene señalar que, siguiendo el ejemplo de Indonesia, cada vez más países dejarán de exportar materias primas no transformadas. Los países en cuestión desean ampliar internamente la cuota de valor añadido mediante la transformación de las materias primas. Es importante desarrollar modelos de asociación justos, verdaderas alianzas de transformación cuyos integrantes estén en igualdad de condiciones.

### **Reciclaje**

El reciclaje es el tercer pilar para reforzar la resiliencia. En el plano temporal, es especialmente relevante para la recuperación de materias primas para baterías, como el litio, el cobalto, el níquel y el cobre. Las primeras plantas de reciclaje ya están en funcionamiento en Alemania y Europa, y la aprobación del nuevo Reglamento de la UE relativo a pilas y baterías ha implantado un ambicioso marco normativo. Las medidas necesarias para aumentar las actividades de reciclaje deben aplicarse a un ritmo acelerado a fin de aprovechar los grandes potenciales de reciclaje que se prevén a partir de 2030. En el caso de los imanes permanentes (tierras raras), el reciclaje también tiene una gran relevancia estratégica. Sin embargo, para aprovechar el potencial de reciclado es necesario promover la investigación, el desarrollo y las correspondientes innovaciones tecnológicas en los procesos de reciclaje. La propuesta de la CE de la Ley Europea de Materias Primas Fundamentales y la revisión de la directiva de la UE sobre «Vehículos al final de su vida útil» también marcan un importante rumbo normativo que conviene apoyar. El reciclado de módulos fotovoltaicos y mate-

riales de electrolizadores (titanio, iridio, platino) también es una opción, pero solo adquirirá relevancia después de 2035.

### **Reducción del uso de materias primas**

Las innovaciones en el ámbito de la reducción del uso de materias primas mediante el aumento de la eficiencia material de componentes específicos son especialmente relevantes para el futuro incremento en la producción de electrolizadores PEM. Una reducción significativa de la demanda específica de iridio de los electrolizadores PEM es un requisito previo crucial para la producción en masa de esta tecnología, muy importante para el desarrollo de una economía del hidrógeno a nivel mundial. En cuanto a los imanes permanentes, aún hay un potencial moderado para reducir el contenido de tierras raras pesadas mediante la innovación. Las tierras raras pesadas se clasifican como muy críticas a efectos de este estudio.

### **Tecnologías alternativas**

Están surgiendo tecnologías alternativas dentro de la gama de las baterías de iones de litio. De hecho, algunas ya están listas para lanzarse al mercado. Por un lado, cabe mencionar el aumento del uso de las baterías NMC811 con bajo contenido en cobalto y, por otro, las baterías LFP sin níquel, cobalto ni manganeso. Otras alternativas que están en desarrollo y que pueden ser relevantes a partir de 2030 son las baterías de estado sólido o las baterías de iones de sodio.

### 5. Recomendaciones políticas

Tomando como base la investigación sobre la demanda y la oferta de las tecnologías especialmente importantes para este estudio, el equipo del proyecto ha identificado posibles estrategias e instrumentos para aumentar la resiliencia de las cadenas de suministro. Un examen en profundidad de cada una de las estrategias excedía el alcance de este estudio. Lo que pretenden las siguientes recomendaciones preliminares es proporcionar un marco para futuras investigaciones que profundicen en la eficacia potencial y la aplicabilidad prioritaria para reforzar la resiliencia de las cadenas de suministro clave para la transformación.

#### Instaurar un seguimiento exhaustivo de la resiliencia

Para todas las cadenas de valor y de suministro clasificadas como prioritarias en este estudio (energía fotovoltaica, energía eólica, imanes permanentes, baterías para movilidad eléctrica, electrolizadores, acero DRI y bombas térmicas), conviene introducir un «seguimiento de la resiliencia» que proporcione información relevante sobre las cadenas de valor estratégicas a los responsables políticos y económicos periódicamente, por ejemplo, anualmente. Es importante evaluar las vulnerabilidades y la capacidad de resiliencia de todas las cadenas de suministro, que esto se lleve a cabo desde una perspectiva tanto alemana como europea, y que la información esté respaldada con datos cuantitativos en la medida de lo posible. El seguimiento de la resiliencia requiere, asimismo, una institucionalización.

#### Crear mercados de venta nacionales estables para las tecnologías fundamentales transformadoras

La creación de un mercado nacional estable en Alemania y en la UE es indispensable para todas las tecnologías fundamentales, también desde el punto de vista de la resiliencia. Para ello, es necesario recurrir a diversos instrumentos. Para los mercados, es decir, medidas regu-

ladoras lo más estables y predecibles posible (ley reguladora, tarificación del carbono, desarrollo de infraestructuras y subvenciones), el apoyo a los mercados verdes punteros, la contratación de mano de obra cualificada con visión de futuro, la rápida tramitación de procedimientos de planificación y aprobación, la agilización de la burocracia, así como el desarrollo o la continuación de estrategias de exportación claras (por ejemplo, en el sector de las energías renovables para la generación de energía eólica marina).

#### Establecer una normativa de resiliencia

Una normativa de resiliencia debería incluir estándares y cualidades, por ejemplo, requisitos para reducir la huella de carbono, o cadenas de suministro responsables desde el punto de vista medioambiental y social. Por ejemplo, el nuevo Reglamento de la UE relativo a pilas y baterías establece los objetivos que le corresponden a cada año clave. Este instrumento podría utilizarse para limitar la importación de productos producidos según normas deficientes desde el punto de vista medioambiental y social.

Este instrumento tan delicado debe estudiarse con más detalle en el caso de las cadenas de valor prioritarias. Así pues, la conformidad con las normas de la OMC es fundamental. Este parámetro podría utilizarse de diferentes maneras, por ejemplo, a través bonificaciones en las licitaciones o tarifas de suministro (basadas en el modelo gradual de la Inflation Reduction Act de EE. UU.) o también como criterio cualitativo en las licitaciones que correspondan.

En el ámbito de la energía eólica marina, la normativa de resiliencia podría contribuir a estabilizar los pedidos de producción, especialmente en el caso de las vías de expansión acordadas a escala europea. Las licitaciones también deben diseñarse de forma que se dé prioridad al uso de instalaciones europeas. Esto también podría ser una contribución importante para la estrategia de exportación necesaria.

### Habilitar centrales de compra de materias primas y productos estratégicos

Las centrales de compra podrían reforzar la posición de las empresas alemanas y europeas en el mercado mundial gracias a su mayor poder adquisitivo. En la actualidad, la legislación antimonopolio impide en cierto modo la formación de dichas centrales de compra. Habría que revisar si se puede adaptar la legislación con el fin de reforzar las cadenas de suministro y las empresas.

### Representar proactivamente la política nacional de asentamientos en el ámbito estratégico de las materias primas y productos

Esta estrategia de oferta se fundamenta en el hecho de que la creación de un mecanismo que asegure la resiliencia para las próximas transformaciones tendrá un coste. En el caso de las cadenas de suministro estratégicas, que son indispensables para una economía resistente y sostenible, los agentes del mercado nacional tendrán que recibir un sólido apoyo transitorio mediante recursos financieros adicionales (por parte del Gobierno Federal alemán y/o los estados federados alemanes y/o la UE) para hacer frente a la competencia desleal fuera de la UE (ventajas de mercado a través de diversas subvenciones estatales, instrumentos fiscales y aduaneros, degeneración de la normativa medioambiental y social, etc.). Este apoyo deberá prestarse hasta que se logre una verdadera igualdad de condiciones en este ámbito.

En primer lugar, hay que tener en cuenta los incentivos a la inversión (CAPEX). Unos ejemplos muy conocidos son los proyectos IPCEI, es decir, inversiones especialmente subvencionables clasificadas como «proyectos importantes de interés común europeo». Además de los criterios regionales, los aspectos relacionados con la resiliencia deben identificarse explícitamente para poder optar a la financiación.

Otro instrumento financiero de la UE es el «Fondo de Transición Justa», que ofrece financiación especial para proyectos de inversión en territorios que se enfrentan a retos derivados de la transición hacia la neutralidad

climática. Un ejemplo reciente de ello es la construcción de una fábrica de imanes en Estonia (recientemente iniciada, incluidas las fases preliminares) desarrollada en el marco del Fondo de Transición Justa. La región de Lusia, especialmente afectada por la eliminación progresiva del carbón, es un ejemplo de territorio que podría solicitar las inversiones correspondientes.

Pero, además de las subvenciones CAPEX, también pueden ser necesarias las OPEX, al menos durante un periodo de tiempo limitado. En este caso, se deben tener en cuenta todas las cadenas de valor prioritarias con gran consumo de energía que tengan grandes desventajas competitivas en cuanto a los costes operativos en comparación con los competidores no europeos. Esto puede ser muy relevante, por ejemplo, para las fábricas de células de baterías, las plantas de producción de imanes permanentes y partes de la cadena de valor de la energía fotovoltaica y la producción de acero ecológico. Un precio especial de la electricidad industrial durante un tiempo limitado y para determinados sectores o procesos podría formar parte de esas ayudas OPEX.

En principio, una política de asentamiento empresarial respaldada por recursos financieros como la descrita puede ayudar a reforzar las cadenas de valor en Europa y contribuir también a una producción nacional más eficiente gracias a los impulsos de la economía de escala.

### Ampliar y reforzar en igualdad de condiciones las alianzas de transformación

Para muchos productos, como las baterías de iones de litio, los imanes permanentes o los electrolizadores, los estudios han puesto de manifiesto la importancia de unas relaciones de suministro más diversificadas con países de fuera de la UE. En este estudio se formularon criterios generales para realizar una preselección de países tanto del Norte como del Sur Global. No se trata únicamente de la compra de materias primas, sino también de productos intermedios y finales. El establecimiento de las llamadas alianzas de transformación en igualdad de condiciones es un elemento clave para garantizar que la estrategia de diversificación tenga éxito también a largo plazo. Especialmente los países del Sur Global (por

## 5. Recomendaciones políticas

ejemplo, Indonesia y Namibia) hacen que la futura cooperación económica dependa de una mayor participación en la cadena de valor.

Alemania debería establecer un vínculo entre estas nuevas alianzas en cuanto a materias primas y tecnología por un lado y la cooperación en materia de formación e investigación por otro, con el fin de reforzar unas alianzas justas y sustanciales. En los próximos meses se recomienda examinar los países propuestos más a fondo para determinar si son adecuados para formar alianzas.

### Desarrollo de capacidades en la industria del reciclado desde las fases iniciales

Para determinadas materias primas estratégicas, como el litio, el níquel, el cobalto y el cobre de las baterías o las tierras raras de los imanes permanentes, los flujos de materiales al final de su vida útil (por ejemplo, los procedentes de vehículos retirados o de centrales eólicas cerradas) representan una interesante fuente de suministro nacional de materias primas estratégicas a medio y largo plazo. La industria europea de reciclado de metales goza de prestigio mundial en algunos ámbitos (en el caso del cobre y los metales preciosos, por ejemplo). Este buen nivel de partida debe complementarse con instrumentos normativos que favorezcan las infraestructuras de reciclado «nuevas» o en expansión (por ejemplo, para baterías de iones de litio, imanes permanentes y, más adelante, módulos fotovoltaicos y electrolizadores). El Reglamento de la UE relativo a pilas y baterías ha contribuido de forma significativa a este objetivo mediante la fijación de objetivos de recogida, cuotas de reciclado al final de la vida útil (para el litio, etc.) y requisitos de porcentaje de contenido reciclado en las nuevas baterías que salgan al mercado en un futuro. En los próximos años será necesario aplicar con firmeza la normativa en todos los países de la UE para conseguir los objetivos.

El proyecto de Ley de Materias Primas Fundamentales ha sentado importantes bases para el futuro reciclaje de imanes permanentes y tierras raras en la UE. Otra normativa importante es la Directiva de la UE relativa a los vehículos al final de su vida útil, que hace hincapié en las especificaciones para el desmontaje y tratamiento de motores eléctricos (imanes permanentes).

Otros instrumentos complementarios para apoyar el reciclaje dentro de la UE son los requisitos de diseño (véase la Directiva de Diseño de la UE), las ayudas a la I+D para nuevos procesos innovadores de reciclaje o incluso las restricciones a la exportación de productos estratégicos (intermedios) derivados de procesos de reciclaje. Un ejemplo actual es el debate sobre la posible restricción de la exportación de la valiosa «masa negra», producto intermedio que se obtiene durante el reciclaje de las baterías de iones de litio.

Aunque la contribución del reciclaje al abastecimiento de Europa con materias primas estratégicas solo pueda alcanzar niveles relevantes a medio plazo (a partir de 2030) o a largo plazo (después de 2035), los instrumentos para aprovechar los potenciales deben ponerse en marcha en los próximos tres años.



La transformación hacia la neutralidad climática exige una rápida y decisiva inversión y modernización en Alemania y la UE. El suministro resiliente de las materias primas y los productos estratégicos necesarios es fundamental para ello. En este contexto, los nuevos retos geopolíticos se deben abordar de modo que ni Europa ni Alemania se conviertan en objeto de chantaje, y se garantice la libertad política necesaria para preservar la soberanía.

El estudio de la fundación Stiftung Klimaneutralität identifica puntos débiles cruciales para las industrias de transformación estratégicas a lo largo de toda la cadena de valor y suministro, y ofrece respuestas políticas, económicas y sociales sobre cómo aumentar la resiliencia ante las amenazas externas.

La fundación Stiftung Klimaneutralität se creó con el fin de desarrollar estrategias intersectoriales sólidas para una Alemania con neutralidad de carbono y respetuosa con el medio ambiente. Partiendo de una correcta labor de investigación, la fundación pretende informar y asesorar, más allá de intereses particulares.

*Encargado por*



**Stiftung  
Klimaneutralität**

Con estos códigos QR puede descargarse en formato PDF la publicación «Garantizar la soberanía de Alemania – Cadenas de suministro resilientes para la transformación hacia la neutralidad climática en 2045».

Version abreviada  
(español)



Versión larga  
(alemán)



Versión larga  
(inglés)



Fichas técnicas  
(inglés)

