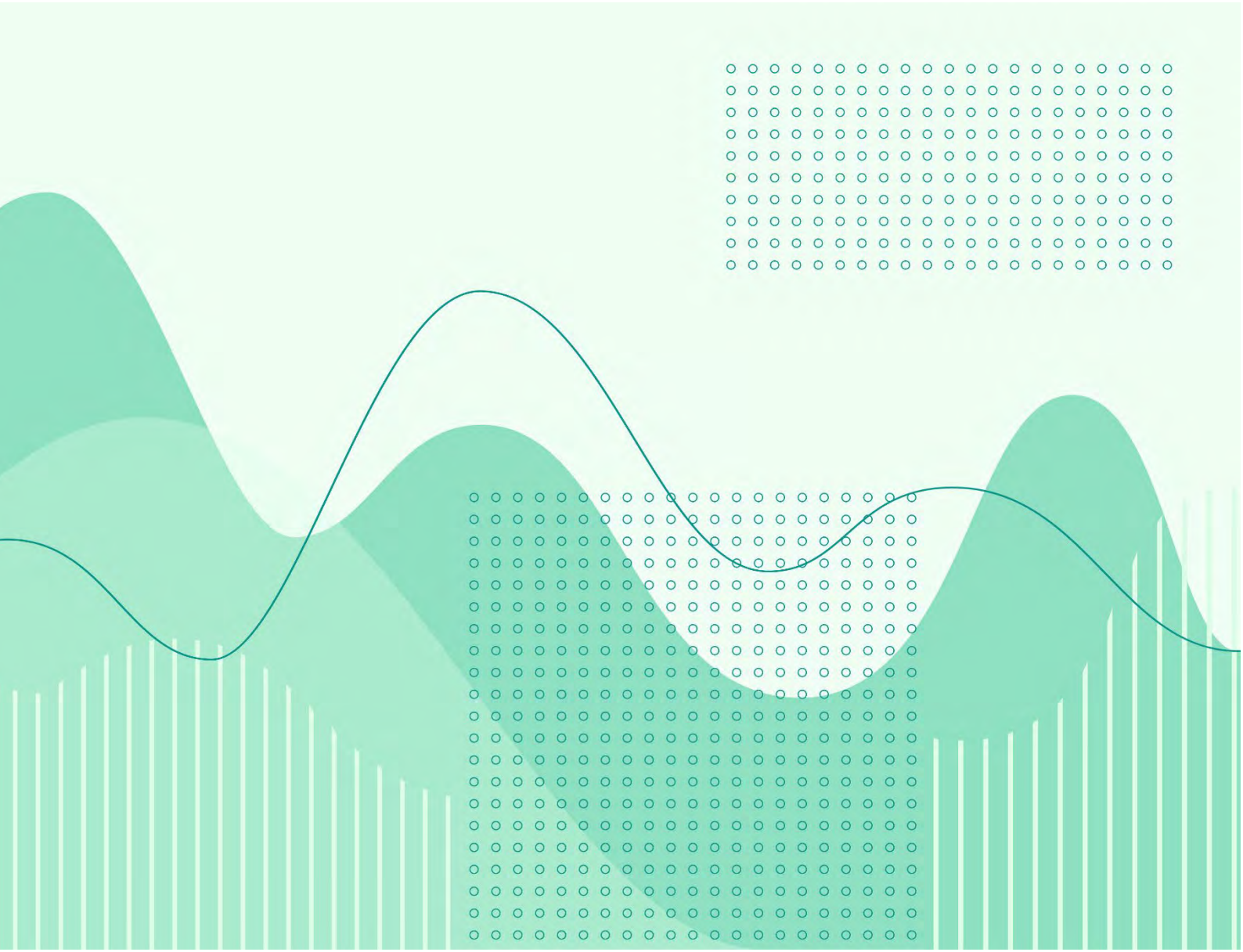
UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Cambridge Industrial Innovation Policy

OPEN SOCIETY FOUNDATIONS

PERSPECTIVAS DE POLÍTICA INDUSTRIAL

# Introducción a la política industrial verde: conceptos, necesidades industriales y opciones de política



## Acerca de esta nota de política pública

Esta nota de política pública presenta un panorama de los conceptos clave, las necesidades industriales y las opciones de política relacionadas con la política industrial verde. Se examinan los desafíos específicos de la descarbonización industrial y la industrialización verde, y cómo los gobiernos pueden apoyarlas mediante paquetes de políticas coordinados. Esta publicación forma parte de una serie de notas de política pública elaboradas en el marco de un proyecto financiado por Open Society Foundations, mediante el cual Cambridge Industrial Innovation Policy colabora con los gobiernos de México e Indonesia para fortalecer el diseño y la implementación de estrategias industriales verdes. El objetivo de la serie es cerrar la brecha entre las ambiciones estratégicas a largo plazo y la implementación práctica de políticas, proporcionando análisis basados en evidencia y ejemplos de instrumentos de política.

## Autores

Mateus Labrunie, Francisco Pereira, Jennifer Castañeda-Navarrete and Zongshuai Fan

Cambridge Industrial Innovation Policy, IfM Engage, Institute for Manufacturing, University of Cambridge

Traducción: Jennifer Castañeda-Navarrete con asistencia de inteligencia artificial, Cambridge Industrial Innovation Policy, IfM Engage, Institute for Manufacturing, University of Cambridge

Cambridge, Reino Unido | 2026

# Índice

**Resumen ejecutivo** ..... **4**

**1. Introducción** ..... **6**

**2. Conceptos clave** ..... **7**

2.1 ¿Qué es la política industrial verde? ..... 7

2.2 Definiciones utilizadas en esta nota ..... 8

**3. Necesidades de transición ecológica de diferentes industrias** ..... **9**

3.1 Pilares comunes de la descarbonización industrial ..... 9

3.2 Los sectores industriales requieren diferentes vías de descarbonización ..... 11

3.3 Muchas tecnologías esenciales aún requieren desarrollo y escalamiento ..... 12

**4. Obstáculos para la transición industrial verde** ..... **15**

**5. Instrumentos de política industrial verde ¿En qué se diferencian de la política industrial tradicional?** ..... **17**

5.1 Un papel más importante en la creación y configuración de los mercados. ..... 20

5.2 Mayor énfasis en la innovación, la demostración y la ampliación de escala ..... 24

5.3 Mayor coordinación de la inversión en infraestructura e industria ..... 27

5.4 Un equilibrio más difícil entre la descarbonización y el desarrollo económico local ..... 28

5.5 Definiciones y salvaguardias ambientales más claras ..... 29

5.6 Seguimiento más exigente y evaluación multidimensional del éxito de las políticas. ..... 30

5.7 ¿Cómo integrarlo todo? Una mayor necesidad de paquetes de políticas coordinadas. ..... 31

**6. Conclusiones e implicaciones para los países en desarrollo** ..... **34**

# Resumen ejecutivo

## ¿Qué es la política industrial verde?

**La política industrial verde** comprende intervenciones públicas que configuran la producción, la inversión, el cambio tecnológico y las capacidades productivas en pos de objetivos económicos y ambientales. Esta nota distingue entre **la descarbonización industrial,** que reduce la dependencia de las actividades industriales existentes de los recursos derivados de combustibles fósiles, y **la industrialización verde**, que implica el desarrollo de las capacidades y la infraestructura necesarias para suministrar los bienes, las tecnologías y los servicios requeridos para la descarbonización de toda la economía. En su conjunto, la descarbonización industrial y la industrialización verde constituyen la **transición industrial verde**.

La descarbonización industrial se basa en **seis pilares**: (i) eficiencia y circularidad de los materiales; (ii) eficiencia energética y optimización de procesos; (iii) electrificación industrial; (iv) combustibles y materias primas con bajas emisiones de carbono; (iv) captura, utilización y almacenamiento de carbono; y (v) factores facilitadores transversales como infraestructura, instituciones, financiamiento y capacitación. Su importancia varía según el sector. Por ejemplo, el procesamiento de alimentos ofrece importantes oportunidades para la electrificación a bajas temperaturas, mientras que el cemento también requiere soluciones para las emisiones derivadas de la química de producción.

Muchas de las tecnologías necesarias para una descarbonización más profunda **aún no están disponibles comercialmente**. Casi el 60% de las tecnologías de energía limpia monitoreadas por la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2025) no han alcanzado la adopción en el mercado. Por lo tanto, la transición requerirá la implementación de soluciones consolidadas y el desarrollo, la demostración y la ampliación de tecnologías emergentes.

## Obstáculos para las transiciones industriales verdes

Las transiciones industriales verdes no ocurren automáticamente. Las empresas y los sistemas industriales se enfrentan a varios obstáculos interrelacionados:

- **Obstáculos técnicos.** Las nuevas tecnologías pueden requerir modificaciones en las plantas y procesos existentes, mientras que las empresas pueden carecer de la experiencia necesaria para evaluarlas, integrarlas y operarlas.
- **Obstáculos económicos.** Los elevados costes de inversión y operación, los largos periodos de recuperación de la inversión, la demanda incierta y la larga vida útil de los activos existentes pueden debilitar la viabilidad económica de las inversiones en transición.
- **Obstáculos organizativos.** La descarbonización requiere coordinación entre las distintas funciones dentro de las empresas y entre productores, empresas de servicios públicos, proveedores de infraestructura, entidades financieras y gobiernos.
- **Obstáculos en el sistema de innovación.** Los vínculos débiles entre la investigación y la industria, las instalaciones de demostración limitadas y los desafíos de financiamiento de los primeros proyectos comerciales pueden impedir que las tecnologías emergentes alcancen una mayor escala.
- **Obstáculos transversales.** La falta de infraestructura eléctrica, de hidrógeno o de carbono, la incertidumbre regulatoria, los largos plazos de tramitación de permisos y la escasez de personal especializado pueden bloquear inversiones que, de otro modo, serían viables.

## ¿En qué se diferencia la política industrial verde de la política industrial tradicional?

- **Instrumentos similares, con diferente énfasis.** La política industrial verde utiliza muchas de las mismas herramientas que la política industrial tradicional. Lo que cambia es su importancia relativa, su diseño y su secuencia ante mayores desafíos tecnológicos, ambientales y de coordinación.

- **Mayor protagonismo en la creación de mercado.** Los productos ecológicos suelen enfrentarse a una mayor incertidumbre en la demanda, ya que sus beneficios ambientales no se ven plenamente recompensados por el mercado, y la demanda puede depender de las políticas públicas. Por lo tanto, la contratación pública, las normas, los incentivos y los compromisos de compra desempeñan un papel más importante.
- **Mayor apoyo a la innovación y la ampliación de escala.** La incertidumbre tecnológica es mayor porque muchas tecnologías verdes aún se encuentran en fase de demostración o en etapas comerciales iniciales, lo que significa que las políticas deben respaldar la investigación y el desarrollo (I+D), la demostración y el primer despliegue comercial, así como la difusión.
- **Mayor coordinación de infraestructuras.** Los proyectos industriales verdes suelen depender de nuevas infraestructuras bajas en carbono, como la electricidad renovable, las redes de hidrógeno y el transporte y almacenamiento de $CO_2$. Por ello, es necesario coordinar más estrechamente las inversiones industriales y en infraestructuras.
- **Un equilibrio más difícil con el desarrollo de contendido nacional.** Los requisitos de contenido local son más difíciles de imponer cuando los proyectos ecológicos ya son costosos o comercialmente frágiles. Condiciones graduales en torno a la formación, la investigación y el desarrollo de proveedores podrían favorecer mejor las capacidades nacionales.
- **Definiciones y salvaguardias ambientales más rigurosas.** La política industrial verde debe definir no solo qué actividades merecen apoyo, sino también qué se considera genuinamente verde o una actividad de transición creíble. Esto implica que las taxonomías, las hojas de ruta y las salvaguardias cobran mayor importancia.
- **Se requiere un seguimiento y una evaluación más rigurosos.** Además de los resultados económicos, las políticas industriales verdes deben medir el desempeño ambiental, incluyendo la reducción de emisiones y el progreso en la transición, aspectos que a menudo son más difíciles de verificar.
- **Mayor importancia de los paquetes de políticas.** Dado que la tecnología, la demanda, el financiamiento, la infraestructura y las habilidades son altamente interdependientes, la política industrial verde otorga mayor importancia a los paquetes coordinados que a los instrumentos aislados.

### Ejemplos internacionales

- **La política china de vehículos eléctricos (VE)** combinó el desarrollo tecnológico, el apoyo a la producción, las demostraciones de flotas públicas, los incentivos para los consumidores y la infraestructura de carga, ajustando la combinación de políticas a medida que la industria maduraba.
- **Australia y Noruega** ilustran cómo las estrategias nacionales pueden organizar las políticas de financiamiento, innovación, infraestructura y cualificaciones en torno a objetivos industriales compartidos a largo plazo.

### Implicaciones para los países en desarrollo

- **Las trayectorias de transición verde dependen del contexto.** Las necesidades sectoriales, los activos existentes y las capacidades nacionales determinan las trayectorias viables, y la descarbonización no genera automáticamente desarrollo industrial nacional.
- **El financiamiento es sólo una parte de la solución.** La preparación del proyecto, la asistencia técnica, la coordinación de la infraestructura y las capacidades institucionales también son esenciales.
- **La continuidad y la credibilidad de las políticas son fundamentales.** Una visión de largo plazo puede fortalece la confianza de los inversionistas y reduce la incertidumbre, mientras que las taxonomías de sostenibilidad claramente definidas, la transparencia en la divulgación de información y los mecanismos independientes de verificación ayudan a evitar prácticas de *greenwashing* y a garantizar que los compromisos ambientales se traduzcan en acciones concretas.

# 1. Introducción

La transición hacia una economía baja en carbono implica más que simplemente cambiar la forma en que se genera y consume la energía. También requiere cambios en lo que producen las economías, en cómo se organiza la producción y en las tecnologías, infraestructuras y capacidades de las que depende la actividad industrial. La industria tiene un doble papel en esta transformación: debe reducir las emisiones de sus propias actividades, al tiempo que suministra los materiales, equipos, tecnologías y servicios necesarios para descarbonizar otros sectores de la economía. La política industrial verde integra estas cuestiones de producción y desarrollo de capacidades en la política climática, a la vez que incorpora los objetivos ambientales al desarrollo industrial.

Esta nota de política distingue entre dos procesos relacionados: **la descarbonización industrial,** que busca reducir las emisiones de las actividades industriales existentes mediante cambios en el uso de la energía, los materiales, los procesos de producción y los sistemas de apoyo; y **la industrialización verde**, que implica el desarrollo de las capacidades productivas y tecnológicas necesarias para suministrar los bienes y servicios requeridos para la descarbonización de la economía. En su conjunto, la descarbonización industrial y la industrialización verde constituyen la transición industrial verde. Si bien pueden reforzarse mutuamente, su relación no es automática: la reducción de emisiones no necesariamente genera capacidades productivas nacionales, mientras que el desarrollo de nuevas industrias verdes no necesariamente descarboniza la producción existente. Esta distinción es particularmente importante para los países en desarrollo que buscan vincular las mejoras ambientales con el aprendizaje tecnológico, el empleo cualificado y la diversificación industrial.

Para comprender esta transición, es necesario centrarse en las características de las distintas industrias. Una planta procesadora de alimentos, una acería y una cementera tienen diferentes necesidades energéticas, fuentes de emisiones, tecnologías de producción y ciclos de inversión. Algunas mejoras pueden lograrse utilizando tecnologías ya establecidas, mientras que otras dependen de soluciones que requieren desarrollo, demostración y escalado comercial. En ambos casos, el progreso depende de algo más que la disponibilidad de equipos más limpios. Las empresas también necesitan financiamiento adecuada, infraestructura fiable, mano de obra cualificada, asistencia técnica y suficiente demanda para sus productos. Estos requisitos están interconectados, lo que convierte la transición en un desafío que implica la transformación de sistemas industriales, más que la simple sustitución de tecnologías individuales.

En este contexto, esta nota de política pública presenta los conceptos, las necesidades industriales y las opciones políticas asociadas con las transiciones industriales verdes. Aborda tres preguntas prácticas: ¿qué busca cambiar la política industrial verde? ¿por qué no siempre se concretan las transiciones técnicamente factibles? y ¿en qué se diferencian los requisitos de política pública resultantes de los de la política industrial tradicional? El análisis se centra en la mitigación del cambio climático en la industria, si bien reconoce que la resiliencia de la infraestructura y los efectos ambientales, más allá de las emisiones de carbono, también influyen en el diseño de las transiciones industriales.

El argumento central es que la política industrial verde se basa en instrumentos conocidos, como la contratación pública, las subvenciones, los incentivos fiscales, los préstamos, las garantías, la inversión en infraestructura, el apoyo a la investigación, la capacitación, las normas y la regulación. Mientras que las características distintivas de la política industrial radican principalmente en cómo se diseñan, combinan, secuencian y evalúan estos instrumentos. Se hace mayor hincapié en la creación de mercados, la gestión de la incertidumbre tecnológica, la coordinación de inversiones interdependientes, la definición de mejoras ambientales creíbles y la evaluación conjunta de los resultados económicos y ambientales.

La nota se estructura de la siguiente manera: La sección 2 presenta los conceptos clave y las definiciones operativas. La sección 3 examina las necesidades de transición de diferentes

industrias, incluyendo los pilares comunes de la descarbonización, las trayectorias específicas de cada sector y las diferencias en la madurez tecnológica. La sección 4 explica las barreras que impiden estas transiciones. La sección 5 analiza los instrumentos de política disponibles y su aplicación específica en la política industrial verde. Finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones y considera sus implicaciones para los países en desarrollo.

# 2. Conceptos clave

## 2.1 ¿Qué es la política industrial verde?

La política industrial verde ha cobrado cada vez más relevancia en los debates sobre acción climática, competitividad y desarrollo económico, pero aún no está definida con precisión. Su alcance depende, en parte, de cómo se entiendan la política industrial y los objetivos ambientales. La política industrial puede referirse específicamente al apoyo a sectores y tecnologías concretos, o de forma más amplia a la acción pública que configura las estructuras productivas, las capacidades y el cambio tecnológico. Los objetivos ambientales pueden centrarse en la mitigación del cambio climático o extenderse a la adaptación al cambio climático, la gestión de pérdidas y daños relacionados con el clima, u otros impactos ambientales como la contaminación y la pérdida de biodiversidad. Algunos enfoques también hacen hincapié en la reducción o eliminación gradual de formas de producción cuyos impactos ambientales no pueden mitigarse suficientemente.[1] En consecuencia, la política industrial verde abarca una gama de enfoques que reflejan diferentes combinaciones de estos objetivos y formas de intervención.[2]

Lo que distingue a la política industrial verde es su enfoque en la transformación de la economía productiva para alcanzar objetivos económicos y ambientales. Utiliza la intervención pública para moldear la producción, la inversión, el cambio tecnológico y las capacidades productivas, incluyendo qué producen las empresas, cómo lo producen, las tecnologías e insumos que utilizan, y las capacidades y posiciones que ocupa una economía en las cadenas de valor. Este enfoque la diferencia de la política industrial verde en general, en contraste con la política ambiental o climática, que puede reducir las emisiones u otros daños ambientales sin pretender transformar la producción o las capacidades industriales.[3]

Este enfoque en la economía productiva abarca dos transformaciones relacionadas: **la descarbonización industrial** y **la industrialización verde**. La descarbonización industrial se refiere a la reducción de emisiones de las actividades industriales existentes mediante el cambio del uso de energía, materias primas, procesos de producción y otras características de la producción industrial. Esto puede implicar mejoras de eficiencia y modernización, pero las reducciones más profundas a menudo requieren nuevas tecnologías de producción, diferentes materiales y fuentes de energía, cadenas de suministro reconfiguradas o la sustitución y eliminación gradual de activos incompatibles. La industrialización verde implica el desarrollo de las capacidades productivas y tecnológicas necesarias para suministrar los bienes, tecnologías y servicios requeridos para descarbonizar todas las áreas de nuestras economías, incluyendo la propia industria, los sistemas de energía y transporte, el entorno construido y la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra. Las capacidades requeridas para la industrialización verde incluyen capacidades de fabricación y el ecosistema de apoyo más amplio, como actividades de I+D, servicios de ingeniería, sistemas de pruebas y certificación, y sistemas de desarrollo de

[1] Hauge and Hickel (2025). A progressive framework for green industrial policy.

[2] OECD (2024). Green Industrial Policies for the Net-Zero Transition; Juhász, Lane and Rodrik (2024). The New Economics of Industrial Policy; OECD (2011). Towards Green Growth; Peres et al. (2026). Green Industrial Policy: Where From, Where To?

[3] Juhász, Lane and Rodrik (2024). The New Economics of Industrial Policy; Hallegatte, Fay and Vogt-Schilb (2013). *Green Industrial Policies: When and How*; Meckling (2021). *Making Industrial Policy Work for Decarbonization*.

habilidades de la fuerza laboral.[4] Juntos, estos dos procesos constituyen lo que esta nota denomina la **transición industrial verde**. Pueden reforzarse mutuamente, pero deben evaluarse por separado: la reducción de las emisiones industriales no necesariamente desarrolla capacidades productivas nacionales; y el desarrollo de industrias verdes no implica necesariamente la descarbonización de la producción existente.

Ambos procesos pueden transformar la estructura productiva, pero de maneras diferentes. La descarbonización industrial modifica **la forma en que producen** las industrias existentes, mientras que la industrialización verde puede cambiar **lo que produce** una economía, las tecnologías y cadenas de valor en las que participa, y las capacidades que desarrolla. Por lo tanto, la transformación estructural puede producirse mediante cambios en **los sectores existentes** y mediante la aparición de **otros nuevos**. La sustitución de tecnologías, insumos y sistemas de producción clave en las industrias establecidas puede suponer una transformación productiva sustancial.[5]

Las vías de descarbonización difieren entre sectores en cuanto a las tecnologías, fuentes de energía, materias primas, infraestructura y capacidades que requieren, así como en las barreras que limitan su adopción. Comprender estas diferencias exige un análisis específico para cada sector y tecnología. Por lo tanto, el resto de esta nota examina los requisitos de transición de las distintas industrias, las barreras que impiden a las empresas y los sistemas de producción cumplirlos, y las respuestas políticas e institucionales necesarias para superar dichas barreras.

## 2.2 Definiciones utilizadas en esta nota

**Política industrial verde**. Intervenciones públicas que configuran la producción, la inversión, el cambio tecnológico y el desarrollo de capacidades productivas con objetivos económicos y ambientales.

**Transición industrial verde**. La transformación de la estructura y las actividades industriales de una economía hacia un estado más respetuoso con el medio ambiente, combinando los procesos de descarbonización industrial e industrialización verde.

**Descarbonización industrial**. Modificaciones de las actividades industriales existentes para reducir su dependencia de los recursos derivados de los combustibles fósiles.

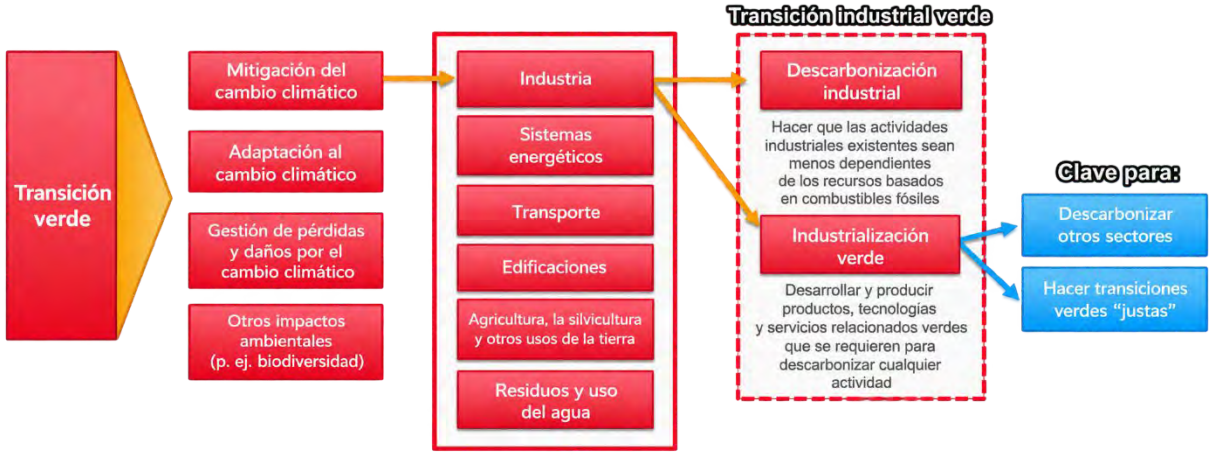
**Industrialización verde**. Desarrollar capacidades productivas y tecnológicas, así como infraestructuras, para suministrar los bienes, las tecnologías y los servicios industriales necesarios para descarbonizar toda la economía.

Si bien las transiciones industriales verdes también pueden incluir, conceptualmente, consideraciones sobre la adaptación al cambio climático, en esta nota nos centramos en la mitigación del cambio climático en la industria. La Figura 1 ofrece un resumen esquemático del alcance del análisis presentado en esta nota de política.

[4] UNIDO (2011). *UNIDO Green Industry: Policies for Supporting Green Industry*; Anzolin and Lebdioui (2023). *Policy Action for Greening Industrial Development: Coordinating Low Carbon Consumption, Production & Innovation*.

[5] Peres et al. (2026). *Green Industrial Policy: Where From, Where To?*; IEA (2022). *Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members*.

**Figura 1**Alcance del análisis: transiciones industriales verdes




**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy.

# 3. Necesidades de transición ecológica de diferentes industrias

Para diseñar políticas industriales verdes eficaces, es fundamental comprender claramente cómo varían las necesidades de transición entre los distintos sectores. En términos generales, la descarbonización industrial implica adaptar, reconfigurar o, en algunos casos, reemplazar los procesos de producción, los modelos de negocio y las cadenas de suministro. Implica implementar prácticas y tecnologías consolidadas que sean más eficientes en el uso de recursos, generen menos emisiones y sean menos perjudiciales para el medio ambiente que las alternativas existentes, así como desarrollar y ampliar las nuevas soluciones necesarias para lograr reducciones de emisiones más profundas.

La importancia relativa y la aplicación técnica de estas soluciones varían considerablemente según el sector, lo que significa que no existe una única vía para la descarbonización industrial. Si bien los sectores comparten varios pilares generales de transición, las tecnologías, la infraestructura y las estrategias de implementación asociadas a cada pilar deben adaptarse a los procesos de producción y las fuentes de emisiones específicas de cada sector.

## 3.1 Pilares comunes de la descarbonización industrial

Las estrategias de descarbonización industrial generalmente convergen en torno a seis pilares recurrentes: [6]

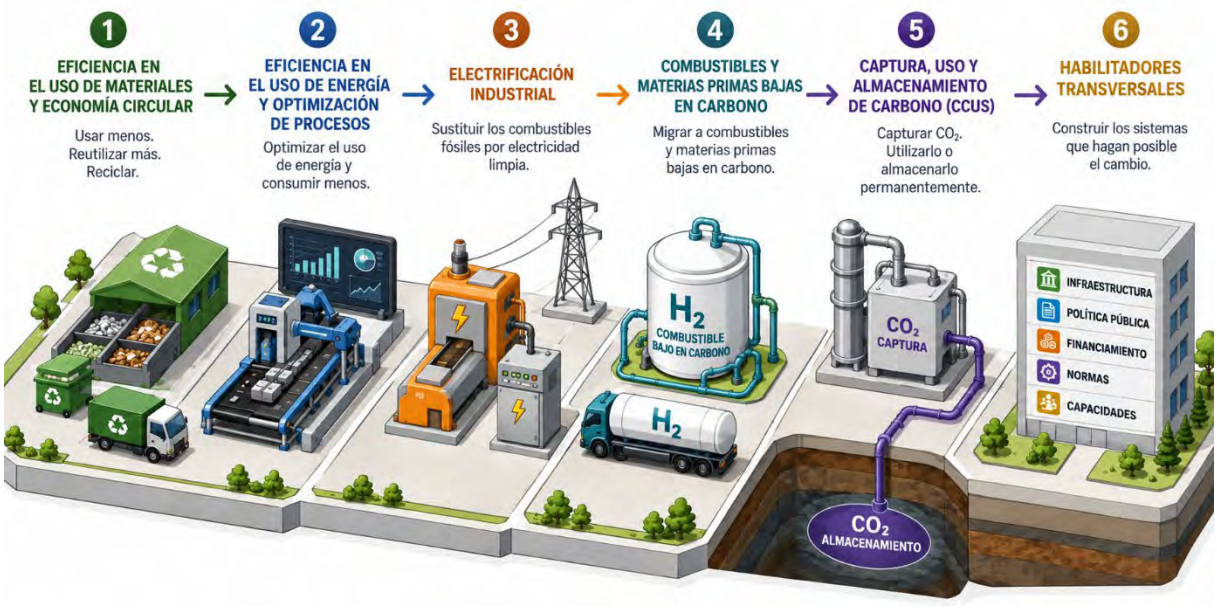
- **Eficiencia de los materiales y economía circular.** Este pilar busca reducir la demanda de materias primas que generan altas emisiones, mejorando el diseño de los productos, prolongando su vida útil, reduciendo los residuos y aumentando la reutilización, la reparación y el reciclaje.
- **Eficiencia energética y optimización de procesos.** Las empresas pueden reducir el consumo de energía y las emisiones modernizando los equipos, recuperando el calor residual, mejorando el control de procesos y utilizando tecnologías digitales para optimizar la producción.

[6] IEA (2022). Cross-Cutting Technologies & Infrastructure.; US Department of Energy (2022). Industrial Decarbonization Roadmap.; Energy Transitions Commission (2020). Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy.; Rissman et al. (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070.; Kim et al. (2024). Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options.

- **Electrificación industrial.** La electrificación sustituye el uso directo de combustibles fósiles por electricidad en equipos industriales y procesos de generación de calor, siempre que se disponga de suficiente energía baja en carbono y capacidad de red.
- **Combustibles y materias primas con bajas emisiones de carbono.** Cuando la electrificación directa sea técnicamente difícil, puede ser necesario sustituir los combustibles fósiles y las materias primas por alternativas como el hidrógeno verde, la biomasa sostenible, el biogás o los combustibles sintéticos.
- **Captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).** La CCUS permite capturar las emisiones residuales de los procesos industriales, especialmente en sectores donde el dióxido de carbono se genera por la composición química del proceso de producción y no puede eliminarse únicamente mediante el cambio de combustible.
- **Facilitadores intersectoriales.** La implementación de estas soluciones depende de una infraestructura de apoyo, instituciones y regulaciones eficaces, acceso a financiamiento, estándares técnicos y una fuerza laboral con las habilidades necesarias para instalar y operar nuevas tecnologías.

Estos pilares son complementarios, no mutuamente excluyentes. Una sola instalación industrial puede necesitar combinar eficiencia de materiales, optimización energética, electrificación, combustibles alternativos y captura de carbono para lograr reducciones significativas de emisiones. La combinación adecuada dependerá del sector, la antigüedad y configuración de los activos existentes, las condiciones locales de energía e infraestructura, y la madurez y el costo de las tecnologías disponibles.

**Figura 2**Seis pilares de la descarbonización industrial



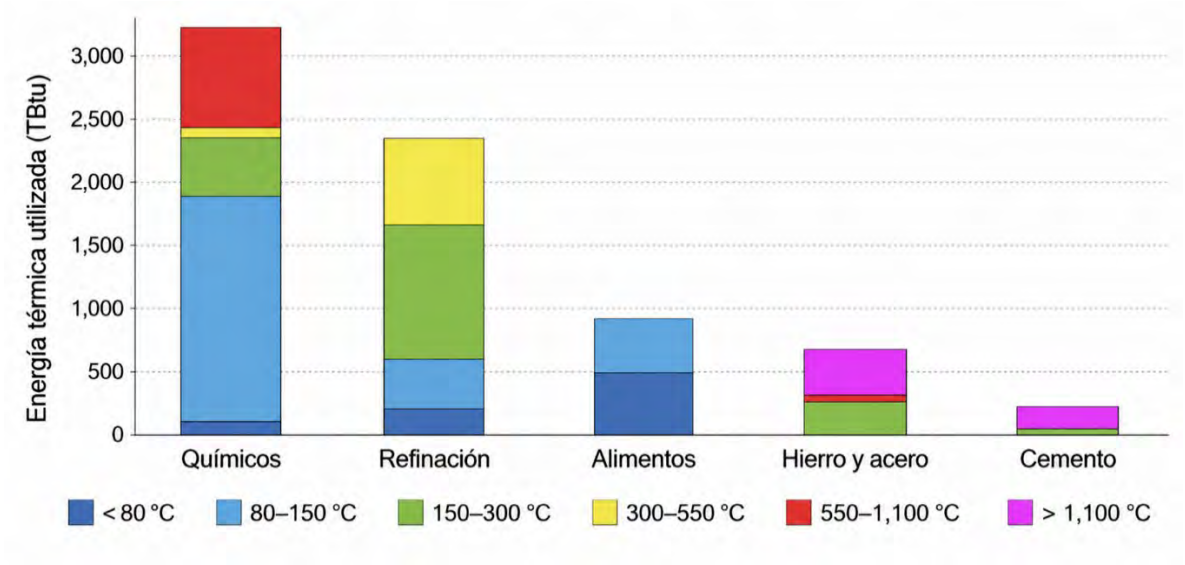

**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy.

Algunas medidas, en particular las mejoras en la eficiencia energética y la optimización de procesos, pueden implementarse mediante cambios graduales en las instalaciones existentes, pero la descarbonización profunda a menudo requiere más que la simple modernización de los activos actuales. En sectores difíciles de descarbonizar, como el acero, el cemento o los productos químicos, modificar la química o la física subyacentes de la producción puede requerir nuevas configuraciones de planta, conexiones de servicios públicos, cadenas de suministro de materias primas y sistemas logísticos. En algunos casos, puede ser necesario retirar activos que dependen de combustibles fósiles antes del final de su vida útil económica prevista e invertir en nuevas rutas de producción.

## 3.2 Los sectores industriales requieren diferentes vías de descarbonización

Las diferencias en el calor, y por tanto la energía, requerida en los procesos industriales ilustran la necesidad de estrategias específicas para cada sector. El Departamento de Energía de Estados Unidos estima que los requerimientos de calor industrial varían desde aproximadamente 80°C para actividades como la pasteurización de leche y crema hasta más de 1000°C en la producción de cemento. Los procesos de calentamiento son la principal fuente de consumo energético industrial. Esta variación es importante porque el calor a bajas y medias temperaturas suele poder generarse mediante tecnologías ya establecidas, como bombas de calor y calderas eléctricas, mientras que los procesos a muy altas temperaturas pueden requerir tecnologías eléctricas especializadas, combustibles a base de hidrógeno, biomasa sostenible o combinaciones de estas opciones (muchas de las cuales aún no están disponibles comercialmente).[7]

**Figura 3**Distribución de los rangos de temperatura del calor de proceso por subsector industrial de Estados Unidos, 2014




**Fuente:** Departamento de Energía de los Estados Unidos (2022).

El mismo principio se aplica a las materias primas industriales. En el sector químico, los recursos fósiles, como el gas natural, se utilizan tanto como fuentes de energía como insumos. En la siderurgia convencional, el carbón proporciona calor, actúa como reductor químico y aporta carbono a la aleación final. Por lo tanto, sustituir los combustibles fósiles en estos sectores implica más que cambiar la fuente de energía. Puede requerir moléculas alternativas, nuevos equipos y diferentes rutas de producción.

En consecuencia, las prioridades de transición difieren notablemente entre sectores. Los productores de cemento deben abordar tanto las emisiones relacionadas con el combustible como las emisiones del proceso de calcinación de la piedra caliza. Los productores de hierro y acero deben reemplazar o modificar sustancialmente los procesos de reducción con alto contenido de carbono. Y los productores de productos químicos necesitan reducir las emisiones asociadas tanto al uso de energía como al carbono incorporado en las materias primas y los productos. Por el contrario, el sector de alimentos y bebidas generalmente depende más del

[7] IEA (2022). Cross-Cutting Technologies & Infrastructure; US Department of Energy (2022). Industrial Decarbonization Roadmap; Energy Transitions Commission (2020). Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy; Rissman et al. (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070; Kim et al. (2024). Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options.

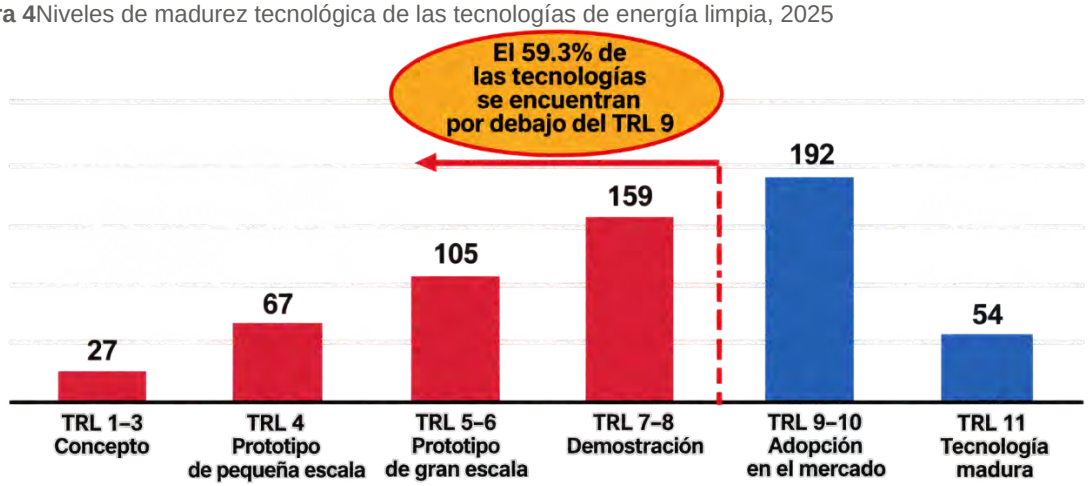
calor a baja temperatura y puede tener mayores oportunidades para la electrificación, mejoras en la eficiencia, recuperación de calor, optimización de la refrigeración y cambios en el embalaje y la logística. La comparación sectorial de la Figura 5 muestra de manera similar que los mismos pilares generales de descarbonización se traducen en tecnologías sustancialmente diferentes en acero, cemento, productos químicos, alimentos y bebidas, y transporte pesado.

Estas diferencias tienen importantes implicaciones políticas. Los gobiernos no pueden basarse en medidas horizontales que traten a todas las empresas industriales por igual. Necesitan un conocimiento sectorial suficiente para identificar las tecnologías, la infraestructura, los ciclos de inversión y las necesidades de coordinación propias de cada industria. La secuencia de las políticas también debe reflejar las diferencias en la vida útil de los activos y la madurez tecnológica: las medidas que pueden lograr reducciones rápidas de emisiones en un sector pueden ser técnicamente inapropiadas o económicamente inviables en otro.

## 3.3 Muchas tecnologías esenciales aún requieren desarrollo y escalamiento

Una segunda característica definitoria de la transición industrial verde es que muchas de las tecnologías necesarias para una descarbonización profunda aún no han alcanzado una implementación comercial generalizada. La *Guía de Tecnologías de Energía Limpia ETP de la Agencia Internacional de Energía (AIE)* realiza un seguimiento de cientos de diseños y componentes tecnológicos, junto con su nivel de madurez, planes de desarrollo y estado de implementación. El análisis reproducido en la Figura 4 indica que aproximadamente el 60% de estas tecnologías se encuentran por debajo del nivel de madurez tecnológica (TRL) 9[8] y, por lo tanto, no han llegado a la etapa de adopción en el mercado.

**Figura 4**Niveles de madurez tecnológica de las tecnologías de energía limpia, 2025




**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy, con base en IEA (2025) .

Por consiguiente, las transiciones industriales verdes dependen de dos procesos paralelos. El primero es la rápida difusión de soluciones maduras y disponibles comercialmente, que incluyen numerosas medidas de eficiencia energética, prácticas de eficiencia de materiales y tecnologías de electrificación consolidadas. Estas pueden lograr reducciones de emisiones a corto plazo, al tiempo que generan experiencia y aprendizaje práctico. El segundo es el desarrollo, la

[8] Los TRL describen la madurez de una tecnología desde la investigación científica inicial hasta su implementación comercial generalizada. El marco utilizado aquí es el siguiente: TRL 1: principios básicos observados; TRL 2: concepto tecnológico formulado; TRL 3: prueba de concepto experimental; TRL 4: tecnología validada en el laboratorio; TRL 5: tecnología validada en un entorno relevante; TRL 6: tecnología demostrada en un entorno relevante; TRL 7: prototipo del sistema demostrado en un entorno operativo; TRL 8: sistema completo calificado y probado para funcionar; TRL 9: tecnología probada mediante un funcionamiento exitoso en su entorno previsto; TRL 10: la tecnología entra en el mercado y se implementa comercialmente a mayor escala; y TRL 11: tecnología madura, establecida comercialmente e implementada a gran escala.

demostración y la ampliación de tecnologías emergentes necesarias para una descarbonización más profunda, como los procesos industriales basados en hidrógeno, la electrificación a alta temperatura, los combustibles sintéticos y los sistemas avanzados de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).

Alcanzar un alto nivel de madurez tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés) es sólo una etapa de este proceso. Una vez que una tecnología es demostrada técnicamente, es necesario ampliar la capacidad de fabricación, establecer cadenas de suministro, capacitar a los trabajadores, introducir normas y regulaciones, construir infraestructura y reducir los costos de producción. Las empresas también deben conseguir clientes y financiamiento para las primeras plantas comerciales, que suelen ser mucho más costosas y arriesgadas que proyectos en sectores ya consolidados.

Estas características implican que la política industrial verde debe abordar un conjunto heterogéneo de necesidades. Debe respaldar la difusión de soluciones probadas, al tiempo que financia la investigación, la demostración y la implementación comercial inicial. Asimismo, debe coordinar las inversiones en instalaciones de producción con las inversiones en redes eléctricas, suministro de hidrógeno, transporte y almacenamiento de carbono, logística, estándares, capacitación y otras capacidades compartidas. La descarbonización industrial no se limita a incentivar a las empresas a adoptar equipos más limpios; se trata de una transformación sistémica que requiere estrategias sectoriales específicas y una acción coordinada en tecnologías, infraestructuras, instituciones y mercados.

**Figura 5**Necesidades tecnológicas y facilitadores intersectoriales para las transiciones industriales verdes en cinco sectores difíciles de descontaminar

| *Ejemplos no exhaustivos en sectores difíciles de abatir* | Acero | | Cemento | | Químicos | | Alimentos y bebidas | | Transporte de carga de alto tonelaje | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Implementación de prácticas y tecnologías maduras | Desarrollo y escalamiento de tecnologías tempranas | Implementación de prácticas y tecnologías maduras | Desarrollo y escalamiento de tecnologías tempranas | Implementación de prácticas y tecnologías maduras | Desarrollo y escalamiento de tecnologías tempranas | Implementación de prácticas y tecnologías maduras | Desarrollo y escalamiento de tecnologías tempranas | Implementación de prácticas y tecnologías maduras | Desarrollo y escalamiento de tecnologías tempranas |
| **1. Eficiencia de materiales y circularidad** | • Acero con contenido de material reciclado, mediante hornos de arco eléctrico (EAF)<br>• Mayor rendimiento y eficiencia en el uso de materiales | • Reducción de peso en sectores de uso final<br>• Aceros de alta resistencia y menor densidad (livianos) | • Sustitución de clínker con materiales cementantes suplementarios (SCM)<br>• Diseño de mezclas de concreto optimizado | • Nuevos aglutinantes (p. ej., calcinados de arcilla, geopolímeros)<br>• Materiales de construcción de base biológica | • Mejora en el diseño de productos y reducción de la intensidad de materiales<br>• Reciclaje mecánico de plásticos | • Reciclaje químico avanzado<br>• Modelos de circularidad en el negocio | • Reducción de pérdidas y mermas de alimentos<br>• Optimización de empaques | • Empaques circulares y sistemas de reúso<br>• Valorización de subproductos agroalimentarios | • Reducción de peso de vehículos<br>• Mejoras en la logística y factores de carga | • Reducción de la demanda en el transporte de largo recorrido<br>• Cambio modal<br>• Materiales de baterías con mayor circularidad |
| **2. Eficiencia energética y optimización de procesos** | • Actualizaciones (BAT) en BF–BOF<br>• Recuperación de calor residual | • Control de procesos con inteligencia artificial<br>• Colada de formas casi netas (near-net-shape) | • Precalentadores modernos y hornos de precalcinación<br>• Recuperación de calor residual | • Optimización de hornos con IA<br>• Control digital avanzado | • Craqueo y destilación de alta eficiencia<br>• Mejoras en catalizadores | • Separaciones mediante membranas e híbridas<br>• Gemelos digitales con IA | • Optimización de calderas y sistemas de vapor<br>• Motores y refrigeración de alta eficiencia | • Integración de cascadas de calor<br>• Optimización de procesos por lotes mediante IA | • Mejora en la eficiencia del motor<br>• Aerodinámica y menor resistencia a la rodadura | • Platooning de camiones (conducción conectada)<br>• Optimización logística mediante IA |
| **3. Electrificación** | • Hornos de arco eléctrico | • Reducción directa de hierro (DRI) con hidrógeno<br>• Producción electrolítica de hierro | • Electrificación de sistemas auxiliares | • Hornos eléctricos<br>• Bombas de calor de alta temperatura | • Accionamientos y bombas eléctricas | • Craqueo con vapor eléctrico<br>• Rutas de producción electroquímica | • Electrificación de procesos de baja temperatura<br>• Calderas eléctricas | • Bombas de calor industriales<br>• Secado y horneado eléctrico | • Camiones eléctricos de batería (urbanos, regionales)<br>• Carga en patios (centros de distribución) | • Carga de alta potencia para largo recorrido (megavatios)<br>• Camiones con celda de combustible de hidrógeno |
| **4. Combustibles e insumos de bajo carbono** | • Gas natural–DRI<br>• Cofuego con biomasa | • Inyección de $H_2$ de alta proporción en BF<br>• DRI con hidrógeno verde | • Combustibles de biomasa o residuos para hornos | • Combustible de hidrógeno para hornos<br>• Combustibles sintéticos para hornos | • Hidrógeno de bajo carbono (ATR/SMR)<br>• Coprocesamiento de bionafta/bioaceites | • Amoniaco verde<br>• Plásticos de base biológica y con $CO_2$ capturado | • Cambio de biogás a gas natural<br>• Aprovechamiento de calor de residuos de biomasa | • Biometano de alta proporción<br>• Combustibles de hidrógeno y e-fuels | • HVO (diésel renovable) / biodiésel<br>• Camiones de gas natural licuado (GNL) o biometano | • Hidrógeno verde para vehículos pesados<br>• Combustibles sintéticos (e-fuels) |
| **5. Captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS)** | • Captura de $CO_2$ en BF–BOF | • Reducción directa con fusión (smelting) + CCUS<br>• DRI + CCUS | • Captura de aminas en hornos | • Horno de oxicombustión + captura<br>• Ciclado de calcio | • Captura de $CO_2$ en corrientes de alta pureza | • Conversión de $CO_2$ a químicos en plantas de craqueo **(CCS)** | • Captura en sistemas de cogeneración (CHP) (implementación limitada) | • BECCS (bioenergía con captura y almacena-miento de carbono) | • Producción de combustibles con CCUS | • Captura de $CO_2$ a bordo<br>• BECCS en la producción de biocombustibles |
| **Habilitadores transversales** | **Infrastructura**<br>• Sistemas de energía limpia<br>• Redes de hidrógeno<br>• Transporto y almacenamiento de $CO_2$<br>• Polos o clústeres industriales | | **Marco institucional**<br>• Regulación de tecnologías verdes<br>• Normas y certificaciones de tecnologías verdes<br>• Estándares de reporte de emisiones | | **Habilidades del capital humano**<br>• Técnicos especializados en tecnologías verdes<br>• Personal con formación STEM especializado en tecnologías verdes | | | | | |

**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy. *Necesidades y obstáculos para la transición industrial verde*. Por publicarse.

# 4. Obstáculos para la transición industrial verde

Las vías tecnológicas descritas en la Sección 3.3 no se traducen automáticamente en descarbonización industrial. Las empresas se enfrentan a una combinación de **obstáculos técnicos, económicos, organizativos y del sistema de innovación**, agravados por deficiencias en factores de apoyo transversales como la infraestructura, las instituciones, el financiamiento y las competencias de la mano de obra (Figura 6 ). Estos obstáculos afectan tanto al despliegue de tecnologías maduras como al desarrollo, la demostración y la ampliación de las soluciones emergentes.

**Figura 6**Obstáculos para la transición industrial verde




**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy.

**Los obstáculos técnicos** surgen porque incluso las tecnologías disponibles comercialmente deben integrarse en los equipos, procesos de producción y condiciones operativas existentes. Su adopción puede requerir modificaciones en la planta, interrupciones en la producción y cambios en los procesos previos o posteriores. Además, las empresas pueden carecer de la **capacidad de absorción** necesaria para evaluar, adaptar y operar tecnologías desconocidas, especialmente las pequeñas y medianas empresas (PyME) con recursos de ingeniería limitados y acceso restringido a conocimientos especializados. En consecuencia, las tecnologías técnicamente maduras aún pueden percibirse como operativamente riesgosas.

**Los obstáculos económicos** son significativos. Los proyectos industriales verdes suelen implicar altos costos iniciales de capital, largos períodos de recuperación de la inversión e ingresos futuros inciertos. Las rutas de producción bajas en carbono pueden seguir siendo más costosas que las alternativas convencionales debido a los mayores costos de electricidad, hidrógeno, materias primas sostenibles o equipos especializados, mientras que los clientes pueden no estar dispuestos a pagar un precio superior por productos más ecológicos. Esto genera una considerable **incertidumbre en la demanda**, especialmente para productos relativamente homogéneos como el acero, el cemento, los productos químicos y los fertilizantes. Los activos existentes de larga duración complican aún más las decisiones de inversión: las empresas pueden retrasar la sustitución de equipos con altas emisiones de carbono antes del final de su vida útil, mientras que invertir demasiado pronto en tecnologías emergentes crea el riesgo de obsolescencia tecnológica.

**Los obstáculos organizativos** pueden ralentizar aún más la transición. La descarbonización requiere cambios en las estrategias, rutinas y responsabilidades corporativas, y a menudo exige

coordinación entre las funciones de sostenibilidad, producción, compras, ingeniería y finanzas, que tienen prioridades y plazos diferentes. En las empresas multinacionales, las decisiones de inversión más importantes pueden tomarse en la sede central, lo que limita la autonomía de las filiales locales. Más allá de las empresas individuales, muchos proyectos de transición requieren la acción simultánea de productores, empresas de servicios públicos, operadores de infraestructuras, proveedores de tecnología, instituciones financieras y gobiernos, lo que genera importantes desafíos de coordinación.

Para las tecnologías menos maduras, estos desafíos se extienden al **sistema de innovación** . La falta de inversión en I+D, los vínculos débiles entre las organizaciones de investigación y la industria, y la infraestructura de demostración limitada pueden ralentizar el desarrollo tecnológico. Un cuello de botella particularmente importante es el **"valle de la muerte"** entre la demostración y el despliegue comercial, donde los proyectos pioneros pueden requerir demasiado capital para los inversionistas de capital riesgo, pero ser demasiado arriesgados para los prestamistas convencionales. La comercialización también requiere capacidades complementarias —incluidos proveedores, capacidad de fabricación, estándares, certificación, instalaciones de ensayo y servicios de mantenimiento— que pueden no existir.

Finalmente, las transiciones industriales verdes dependen de **factores de apoyo transversales** que las empresas individuales por sí solas no pueden proporcionar. La electrificación a gran escala requiere una capacidad de red adecuada y electricidad baja en carbono; la producción basada en hidrógeno depende de la producción, el transporte y el almacenamiento de hidrógeno; y la captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) requiere infraestructura compartida de transporte y almacenamiento. Esto crea un problema de coordinación recurrente: las empresas pueden esperar a que la infraestructura esté disponible antes de invertir, mientras que los proveedores de infraestructura pueden esperar a que haya suficiente demanda. Los largos trámites de permisos, la regulación incierta, los estándares inconsistentes y los sistemas débiles de monitoreo, informes y verificación también pueden aumentar el riesgo y retrasar la inversión. La escasez de ingenieros, técnicos, electricistas, trabajadores de la construcción y otros trabajadores especializados puede convertirse en una limitación adicional en todas las trayectorias de transición.

Estos obstáculos se refuerzan mutuamente. Un proyecto técnicamente viable puede resultar poco atractivo comercialmente debido a los altos costos o la incertidumbre de la demanda; una inversión económicamente prometedora puede verse bloqueada por la falta de infraestructura o personal cualificado; y las tecnologías emergentes pueden no lograr escalar debido a la ausencia de financiamiento, regulación y capacidades complementarias. Por lo tanto, la transición industrial verde representa un **desafío de coordinación a nivel sistémico,** más que una simple cuestión de implementar las tecnologías disponibles. Una política industrial verde eficaz debe abordar simultáneamente varias de estas limitaciones: reducir los riesgos de los proyectos, crear mercados, coordinar la infraestructura y fortalecer las capacidades tecnológicas, institucionales y de la fuerza laboral. La sección 5 examina los instrumentos de política disponibles para llevar a cabo estas funciones.

# 5. Instrumentos de política industrial verde ¿En qué se diferencian de la política industrial tradicional?

Las barreras descritas en la Sección 4 no pueden superarse con un sólo instrumento de política pública. La incertidumbre técnica, la escasa demanda, los altos costos, las limitaciones organizativas y la falta de infraestructura interactúan entre sí, lo que significa que el apoyo financiero por sí solo rara vez será suficiente. Una política industrial verde eficaz combina medidas que apoyan a las empresas y las tecnologías con medidas que crean mercados, coordinan la infraestructura, desarrollan capacidades y establecen estándares ambientales creíbles.

En un aspecto importante, el repertorio de políticas no es fundamentalmente nuevo. La política industrial verde recurre a muchos de los mismos instrumentos utilizados en la política industrial tradicional: subvenciones e incentivos fiscales, créditos subvencionados, contratación pública, incentivos de comercio e inversión, infraestructura pública, apoyo a la I+D, capacitación, asistencia técnica, normas, regulación e inversión pública directa, entre otros. El conjunto de herramientas de financiamiento también resulta familiar e incluye préstamos, capital, garantías, líneas de crédito y acuerdos de reparto de riesgos.

La principal diferencia radica menos en los instrumentos individuales que en **su énfasis, combinación, secuencia y criterios de desempeño**. La política industrial verde aplica herramientas conocidas en condiciones tecnológicas, ambientales y de coordinación excepcionalmente exigentes. Con frecuencia, debe respaldar mercados antes de que la demanda esté firmemente establecida, financiar tecnologías antes de que se comprendan plenamente sus riesgos, coordinar inversiones en varios sistemas interdependientes y verificar resultados que no pueden medirse únicamente con indicadores económicos convencionales.

Por lo tanto, la política industrial verde no constituye un ámbito político independiente con un nuevo conjunto de instrumentos. Se entiende mejor como una política industrial tradicional que opera bajo condiciones ambientales, tecnológicas y de infraestructura más exigentes. Sus características distintivas, los instrumentos de política industrial asociados y algunos ejemplos reales se resumen en la Tabla 1. En general, estos instrumentos no son exclusivos de la política industrial verde, pero sí difieren en su importancia relativa, diseño, condicionalidad y combinación en respuesta a los desafíos ambientales y de transición.

**Tabla 1.** Características distintivas de la política industrial verde, instrumentos asociados y ejemplos

| Característica distintiva | Instrumentos de política industrial asociados | Ejemplos |
|---|---|---|
| **Generar demanda de productos cuyo valor ambiental no es plenamente recompensado por los mercados.** | Contratación pública ecológica; subvenciones a la compra o al consumo; normas sobre productos y emisiones; mandatos y cuotas; contratos por diferencia; garantías de compra; fijación de precios del carbono y otros mecanismos que reducen la prima ecológica. | **El programa japonés de bonos GX/Transición Climática** financia medidas del lado de la demanda, incluyendo subsidios para vehículos de energía limpia y la electrificación de vehículos comerciales. Estas medidas buscan acelerar la adopción y establecer mercados para tecnologías bajas en carbono, además de brindar apoyo a la producción y el desarrollo tecnológico.[9] |

[9] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

| Característica distintiva | Instrumentos de política industrial asociados | Ejemplos |
|---|---|---|
| **Apoyar tecnologías inciertas mediante demostraciones y su primer despliegue comercial.** | Subvenciones para I+D y proyectos de demostración; financiamiento de proyectos pioneros; préstamos en condiciones favorables; capital público; garantías y capital de primera pérdida; financiamiento combinado; fondos para la innovación; incentivos a la producción de tecnologías emergentes. | El **Fondo Green Artha para una Economía Limpia** se centra en tecnologías climáticas pioners en la fase de comercialización, entre el capital riesgo y el financiamiento convencional de proyectos, combinando la inversión con la distribución de riesgos en condiciones favorables y la asistencia técnica.[10] El **Fondo Europeo de Innovación** también se centra en proyectos innovadores y pioneros, y utiliza explícitamente fondos públicos para compartir el riesgo tecnológico y de implementación.[11] |
| **Combinar financiamiento con asistencia técnica y preparación de proyectos.** | Instalaciones para la preparación de proyectos; estudios de viabilidad e ingeniería; asistencia técnica; servicios de asesoramiento; programas aceleradores; desarrollo de capacidades; plataformas de financiamiento mixta que combinan capital con apoyo no financiero. | El **Mecanismo de Transición Energética del Banco Asiático de Desarrollo** combina financiamiento en condiciones favorables y financiamiento comercial con asistencia técnica para estudios de viabilidad, salvaguardias, análisis de redes, planeación de energía de reemplazo y seguimiento. El **Laboratorio de Financiamiento e Inversión Climática del Banco de Desarrollo de Malasia** utiliza programas de aceleración, y ofrece apoyo técnico, incluyendo la preparación de proyectos, y estructuración de capital para convertir conceptos climáticos en proyectos listos para la inversión.[12] |
| **Coordinación de las inversiones en producción con infraestructura compartida** | Planeación industrial y de infraestructuras coordinada; inversión en servicios públicos o regulados; centros y clústeres industriales; fondos de infraestructuras; vehículos de activos compartidos y asociaciones público-privadas (APP); garantías de ingresos; planeación espacial y tramitación acelerada de permisos. | La **estrategia de descarbonización industrial del Reino Unido** apoya las redes compartidas de transporte y almacenamiento de $CO_2$ que pueden dar servicio a múltiples emplazamientos industriales, reconociendo que dicha infraestructura implica elevados costes iniciales y una coordinación entre empresas. El apoyo gubernamental ha incluido el Fondo de Infraestructura para la Captura y el Almacenamiento de Carbono y modelos de negocio específicos para el transporte, el almacenamiento y la captura industrial de carbono.[13] |

[10] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

[11] Comisión Europea (2026). *Fondo para la Innovación*.

[12] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

[13] DESNZ y BEIS (2021). *Estrategia de descarbonización industrial*.

| Característica distintiva | Instrumentos de política industrial asociados | Ejemplos |
|---|---|---|
| **Equilibrar la rápida descarbonización con el desarrollo de capacidades nacionales.** | Subvenciones condicionadas e incentivos fiscales; apoyo a la cadena de suministro y la fabricación nacionales; programas de I+D e innovación; políticas de mano de obra y cualificaciones; programas de desarrollo de proveedores; condiciones de beneficio comunitario o de desarrollo de capacidades vinculadas al apoyo público. | **El programa australiano Future Made in Australia** combina el objetivo de lograr la neutralidad de carbono con el de la resiliencia y la seguridad económicas. Su paquete de políticas incluye incentivos a la producción de hidrógeno renovable y al procesamiento de minerales críticos, así como apoyo a la innovación y la manufactura. Los Principios de Beneficio Comunitario buscan fortalecer las comunidades locales, las cadenas de suministro y las competencias.[14] De manera similar, el programa japonés GX combina el apoyo a la descarbonización con la inversión en las cadenas de suministro nacionales de baterías y semiconductores.[15] |
| **Definir actividades verdes y de transición creíbles** | Taxonomías verdes y de transición; criterios de evaluación técnica; hojas de ruta sectoriales para la descarbonización; listas de actividades elegibles y de exclusión; requisitos del plan de transición; "no causar daños significativos" y salvaguardias sociales y ambientales. | La **taxonomía de la UE** exige que las actividades elegibles contribuyan sustancialmente a un objetivo ambiental, no causen daños significativos a terceros, cumplan con las salvaguardias mínimas y respeten los criterios de evaluación técnica.[16] En **Zhejiang/Huzhou, China**, una taxonomía de transición específica para el sector textil identifica alrededor de setenta vías técnicas y se utiliza para determinar la elegibilidad de las empresas textiles para recibir financiamiento para la transición.[17] |
| **Medir el desempeño ambiental además de los resultados económicos convencionales.** | Sistemas de seguimiento, notificación y verificación; contabilidad de emisiones y del ciclo de vida; indicadores clave de desempeño ambiental; verificación independiente; evaluación de impacto; préstamos y subvenciones vinculados a la sostenibilidad; subsidios y contratos basados en el desempeño. | El **préstamo para la transición textil del Banco Comercial Rural de Changxing** combina una taxonomía sectorial con datos digitales sobre el desempeño en materia de carbono y una verificación continua, con términos de préstamo ajustados según el progreso verificado de la transición. El código digital de eficiencia de carbono industrial de Huzhou proporciona una infraestructura de datos compartida para medir el desempeño de carbono de las empresas. Los bonos de transición climática de Japón también utilizan la asignación y la presentación de informes de impacto, con diferentes metodologías para I+D, inversión de capital y proyectos del lado de la demanda, lo que ilustra la necesidad de distinguir entre los impactos futuros modelados y los resultados observados.[18] |

**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy.

[14] Australian Treasury (2024). *Future Made in Australia - National Interest Framework supporting paper.*

[15] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

[16] Comisión Europea (2023). *Guía del usuario para navegar por la taxonomía de la UE para actividades sostenibles.*

[17] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

[18] Ibid.

**Como ilustra la Tabla 1, la mayoría de estos instrumentos no son exclusivos de la política industrial verde.** Las subvenciones, los incentivos fiscales, la contratación pública, el financiamiento en condiciones favorables, la inversión en infraestructuras, la regulación, las políticas de formación profesional y el apoyo a la innovación son elementos habituales de la política industrial tradicional. Lo que sí es distintivo es el mayor énfasis que se otorga a la generación de demanda, la distribución del riesgo tecnológico y financiero, la coordinación de infraestructuras, la elegibilidad y el seguimiento ambiental, y la necesidad de impulsar la descarbonización en paralelo a los objetivos de desarrollo industrial.

## 5.1 Un papel más importante en la creación y configuración de los mercados.

La política industrial tradicional suele respaldar actividades que los gobiernos esperan que se vuelvan comercialmente competitivas a medida que aumenta la productividad, las empresas aprenden y los mercados se expanden. La política industrial verde comparte este objetivo, pero la demanda de productos verdes a menudo depende más de las políticas públicas.

Es posible que los clientes no estén dispuestos a pagar más por acero, cemento, productos químicos u otros bienes intermedios con bajas emisiones cuando estos productos cumplen la misma función inmediata que alternativas más baratas y con altas emisiones. El beneficio social general de las menores emisiones no se refleja plenamente en la decisión de compra. Por lo tanto, la demanda puede seguir siendo débil incluso cuando la producción con bajas emisiones de carbono es tecnológicamente viable.

Por este motivo, las políticas industriales verdes a menudo deben ir más allá de simplemente ayudar a los productores a reducir sus costos. También deben generar una demanda significativa. La Tabla 2 resume algunos de los principales instrumentos del lado de la demanda y ejemplos de su aplicación práctica.

**Tabla 2.** Instrumentos del lado de la demanda para crear y configurar mercados industriales verdes.

| Instrumento | Ejemplo |
|---|---|
| **Fijación de precios del carbono y regulación de las emisiones** | **Sistema de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (RCDE UE).** En funcionamiento desde 2005, el RCDE UE fija un precio a las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la generación de electricidad y calor, la industria manufacturera, la aviación y el transporte marítimo. Su límite máximo de emisiones decreciente y la obligación de las empresas participantes de entregar sus derechos de emisión aumentan el coste relativo de la producción con altas emisiones de carbono, lo que refuerza los incentivos para invertir en alternativas con menores emisiones y adquirirlas. |
| **Compromisos de contratación pública para materiales de bajas emisiones** | **Iniciativa Federal de Compras Limpias de Estados Unidos.** Durante su implementación en 2023-2024, la Administración de Servicios Generales de Estados Unidos (GSA) introdujo requisitos y destinó fondos para la compra de asfalto, hormigón, vidrio y acero con bajas emisiones de carbono en proyectos de construcción federales. La GSA identificó más de 150 proyectos que utilizaban estos materiales, aprovechando el poder adquisitivo federal para estimular la demanda de manufacturas con bajas emisiones de carbono. |
| **Normas de producto y requisitos mínimos de rendimiento en materia de emisiones** | **Estándar de Combustibles Bajos en Carbono de California (LCFS).** El LCFS establece parámetros de referencia cada vez más estrictos para la intensidad de carbono del ciclo de vida de los combustibles para el transporte. Los combustibles con una intensidad de carbono inferior al parámetro de referencia generan créditos negociables, mientras que los proveedores de combustibles con mayor contenido de carbono incurren en déficits que deben compensarse. Por lo tanto, el estándar genera una demanda continua de combustibles con menor contenido de carbono sin prescribir una tecnología específica. |

| Instrumento | Ejemplo |
|---|---|
| **Cuotas o mandatos para el contenido reciclado y bajo en carbono** | **Reglamento de la UE sobre baterías.** Este reglamento establece requisitos mínimos obligatorios de contenido reciclado para baterías de vehículos eléctricos y ciertas baterías industriales. A partir de 2031, las baterías incluidas en el reglamento deberán contener porcentajes mínimos de cobalto recuperado (16%), plomo (85%), litio (6%) y níquel (6%), con requisitos más exigentes para varios materiales a partir de 2036. Estas normativas crean un mercado predecible para los materiales reciclados y fomentan la inversión en el reciclaje y las cadenas de suministro de materiales secundarios. |
| **Compromisos de mercado anticipados y acuerdos de compra a largo plazo** | **El programa H2Global de Alemania** utiliza a Hintco, un intermediario respaldado por el Estado, para formalizar acuerdos de compra a largo plazo de derivados de hidrógeno renovable y revenderlos mediante subastas competitivas. El financiamiento público cubre la diferencia prevista entre el precio de compra más alto y el precio inicial más bajo que los compradores están dispuestos a pagar. Los contratos a largo plazo garantizan los ingresos de los productores, al tiempo que contribuyen a establecer señales de demanda y precios en un mercado de hidrógeno verde aún incipiente. La primera subasta dio como resultado contratos para el suministro a Alemania de al menos 259,000 toneladas de amoníaco verde entre 2027 y 2033. |
| **Sistemas de certificación, etiquetado y trazabilidad** | **Programa australiano de Garantía de Origen** (GO, por sus siglas en inglés), lanzado en 2025, proporciona certificados de producto que registran el lugar de fabricación y las emisiones asociadas a su producción, transporte y almacenamiento. Inicialmente abarca el hidrógeno electrolítico, pero el objetivo es extenderlo a productos tales como derivados del hidrógeno, combustibles bajos en carbono y metales “verdes”. Al permitir a los compradores verificar los atributos de las emisiones, el sistema contribuye al desarrollo de mercados diferenciados de bajas emisiones. |
| **Incentivos para el consumidor** | **Política de vehículos eléctricos de China.** China utilizó incentivos para el consumidor como parte de un paquete de políticas más amplio para crear un mercado inicial para vehículos de nueva energía (VNE). Las primeras medidas incluyeron subsidios nacionales y locales a la compra, programas de demostración pública y trato preferencial, como un acceso más fácil a las licencias de vehículos y privilegios de circulación en algunas ciudades. A medida que el mercado maduró, los subsidios nacionales directos a la compra finalizaron en 2022, mientras que los incentivos fiscales y de reemplazo continuaron. Los VNE comprados en 2026-27 reciben actualmente una reducción del 50% en el impuesto de compra de vehículos, con un límite de 15 000 RMB por vehículo de pasajeros, mientras que el programa de intercambio de vehículos de 2026 ofrece un subsidio mayor para reemplazar un vehículo antiguo elegible por un VNE que por un vehículo de combustión interna. Consulte el Recuadro 1 para una descripción más detallada de esta política pública. |

**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy.

En estos casos, la política pública no sólo responde a un mercado existente, sino que contribuye a su constitución. Los ejemplos de la Tabla 2 también ilustran que la generación de demanda puede operar a través de diferentes canales. Los precios del carbono y los estándares de desempeño modifican la economía relativa de los productos con alto y bajo contenido de carbono; los acuerdos de adquisición y compra directa proporcionan compradores; los mandatos crean mercados mínimos garantizados; la certificación visibiliza y verifica los atributos ambientales; y los incentivos al consumidor reducen el costo o las dificultades de adoptar nuevas tecnologías. Por lo tanto, muchos mercados industriales verdes se describen mejor como **mercados creados o moldeados por políticas** .

No obstante, las medidas del lado de la demanda deben diseñarse cuidadosamente. Si el apoyo público es temporal o se revisa con frecuencia, las empresas podrían mostrarse reacias a invertir en activos de larga duración. Por lo tanto, las vías de transición creíbles requieren marcos normativos predecibles, calendarios de implementación claros y suficiente certeza sobre la dirección que se tomará, incluso cuando los instrumentos individuales se ajusten con el tiempo.

**La experiencia de China con los vehículos eléctricos (Recuadro 1 ) ilustra cómo este papel de configuración del mercado puede evolucionar a medida que la industria madura.** En lugar de depender de una única intervención del lado de la demanda, China combinó el apoyo al desarrollo tecnológico y la producción con medidas para captar usuarios iniciales, reducir los costes de adopción y construir la infraestructura necesaria para su uso generalizado. A medida que se desarrollaron las capacidades tecnológicas, la escala de producción y la demanda de los consumidores, la combinación de políticas también cambió: desde el apoyo a la I+D y las demostraciones de flotas públicas, pasando por incentivos a la compra y requisitos de producción, hasta una mayor dependencia de la regulación, la competencia, los incentivos fiscales y la infraestructura de carga. Este caso ilustra una característica más amplia de la política industrial verde: los instrumentos del lado de la oferta y de la demanda pueden necesitar evolucionar conjuntamente a medida que cambian las principales barreras para el desarrollo del mercado.

**Recuadro 1Política industrial verde de China para vehículos eléctricos: secuenciación del apoyo a la oferta y la demanda.**

La política china de vehículos eléctricos ilustra cómo una política industrial verde puede combinar medidas tanto del lado de la oferta como de la demanda, y ajustarlas a medida que las tecnologías y los mercados maduran.

***Etapa 1: Desarrollo y demostración de la tecnología.***

**Lado de la oferta: desarrollo de capacidades tecnológicas.** En las primeras etapas, las políticas se centraron en reducir la incertidumbre tecnológica y desarrollar capacidades nacionales en vehículos y componentes clave, en particular baterías, motores y sistemas de control. Los programas públicos de I+D se expandieron sustancialmente durante la década de 2000; las estimaciones de las investigaciones indican que el financiamiento para el desarrollo de vehículos eléctricos alcanzó alrededor de 1,500 millones de dólares durante el Plan Quinquenal 2006-2010, junto con un conjunto más amplio de programas y experimentos de desarrollo tecnológico.[19]

**Lado de la demanda: creación de mercados líderes mediante demostraciones públicas.** Ante la limitada demanda privada, los programas gubernamentales de adquisición y demostración crearon mercados iniciales donde las tecnologías podían probarse en condiciones operativas reales. El programa conocido como “**Diez ciudades, mil vehículos”**, lanzado en 2009, se centró inicialmente en la implementación en flotas de servicios públicos como autobuses, taxis, vehículos gubernamentales, vehículos de saneamiento y servicios postales. Las subvenciones del gobierno central apoyaron la compra de vehículos, mientras que los gobiernos locales también financiaron la infraestructura complementaria. Posteriormente, el programa se extendió a otras ciudades.

(Continua en la siguiente página)

[19] Helveston et al. (2019). *Institutional complementarities: The origins of experimentation in China’s plug-in electric vehicle industry.*

**Recuadro 1Política industrial verde de China para vehículos eléctricos: secuenciación del apoyo a la oferta y la demanda.**

***Etapa 2: Formación inicial del mercado y expansión.***

**Lado de la oferta: fomento de la producción y la mejora tecnológica.** A medida que las tecnologías de vehículos eléctricos (VE) se volvieron más viables, las políticas buscaron cada vez más expandir la producción y mejorar el rendimiento de los vehículos. Un instrumento importante fue la **política de doble crédito**, adoptada en 2017 y vigente desde 2018, que estableció requisitos paralelos para los fabricantes en relación con el consumo promedio de combustible y los vehículos de nueva energía (VNE). Las empresas pueden intercambiar créditos y deben compensar los déficits, lo que crea un incentivo regulatorio continuo para aumentar la producción de VNE y mejorar el rendimiento tecnológico.

**Desde el punto de vista de la demanda: reducir el costo y los obstáculos de la adopción temprana.** Las políticas también buscaron acortar la brecha entre los vehículos eléctricos y los convencionales para los consumidores particulares. Los subsidios nacionales y locales a la compra y los incentivos fiscales redujeron los costos iniciales, mientras que algunas grandes ciudades ofrecieron ventajas adicionales, como acceso preferencial a placas de matrícula, exenciones de restricciones de tráfico, incentivos para la recarga o estacionamiento preferencial. Estas medidas fueron particularmente importantes donde los obstáculos no económicos dificultaban la posesión de vehículos convencionales o facilitaban la de vehículos eléctricos.

***Etapa 3: Expansión al mercado masivo***

**Lado de la oferta: transición de los subsidios a la regulación y la competencia.** Con la expansión del sector, las políticas se basaron menos en el apoyo directo y recurrieron cada vez más a los requisitos regulatorios, las normas técnicas y la competencia para configurar el mercado. Los subsidios a la compra se redujeron progresivamente a partir de 2017, y el programa nacional de subsidios a la compra finalizó en 2022, mientras que instrumentos como el sistema de doble crédito continuaron vigentes. China también eliminó las restricciones a la participación extranjera en la fabricación de vehículos eléctricos en 2018, lo que amplió las oportunidades de inversión extranjera y la competencia en el sector.

**Lado de la demanda: facilitar la adopción masiva y conveniente.** A medida que los vehículos eléctricos se acercaban al mercado masivo, el desafío se centró cada vez más en la infraestructura y las condiciones necesarias para su uso diario. Por lo tanto, las políticas pusieron mayor énfasis en las redes de carga y la infraestructura relacionada, manteniendo al mismo tiempo incentivos para el consumidor más específicos. China se ha convertido en el mayor mercado mundial de infraestructura pública de carga para vehículos eléctricos; a finales de 2025, representaba más del 65% de los puntos de carga públicos a nivel mundial.[20] Los subsidios directos nacionales a la compra han finalizado y, a partir de 2026, la anterior exención total del impuesto a la compra de vehículos fue reemplazada por una reducción del 50%, lo que ilustra el cambio de subsidios generales a la compra hacia una combinación de políticas más madura.[21]

(Continua en la siguiente página)

[20] IEA (2026). Global EV Outlook 2026: Electric vehicle charging.
[21] IEA (2026). Global EV Outlook 2026: Trends in electric cars.

**Recuadro 1Política industrial verde de China para vehículos eléctricos: secuenciación del apoyo a la oferta y la demanda.**

***Lección general***

La experiencia de China demuestra que la creación de un mercado verde no es necesariamente una intervención puntual. A medida que se desarrolla una industria, surgen diferentes limitaciones. Las políticas iniciales pueden reducir la incertidumbre tecnológica y crear usuarios líderes; las medidas posteriores pueden reducir los costos y estimular la producción y la demanda privada; y, a medida que el mercado madura, las políticas pueden orientarse hacia estándares, regulación, competencia e infraestructura facilitadora.

**Fuente:** Kohpaiboon (2026) ; Yong et al. (2023) ; AIE (2021) ; AIE (2023) ; AIE (2026) ; Helveston et al. (2019).

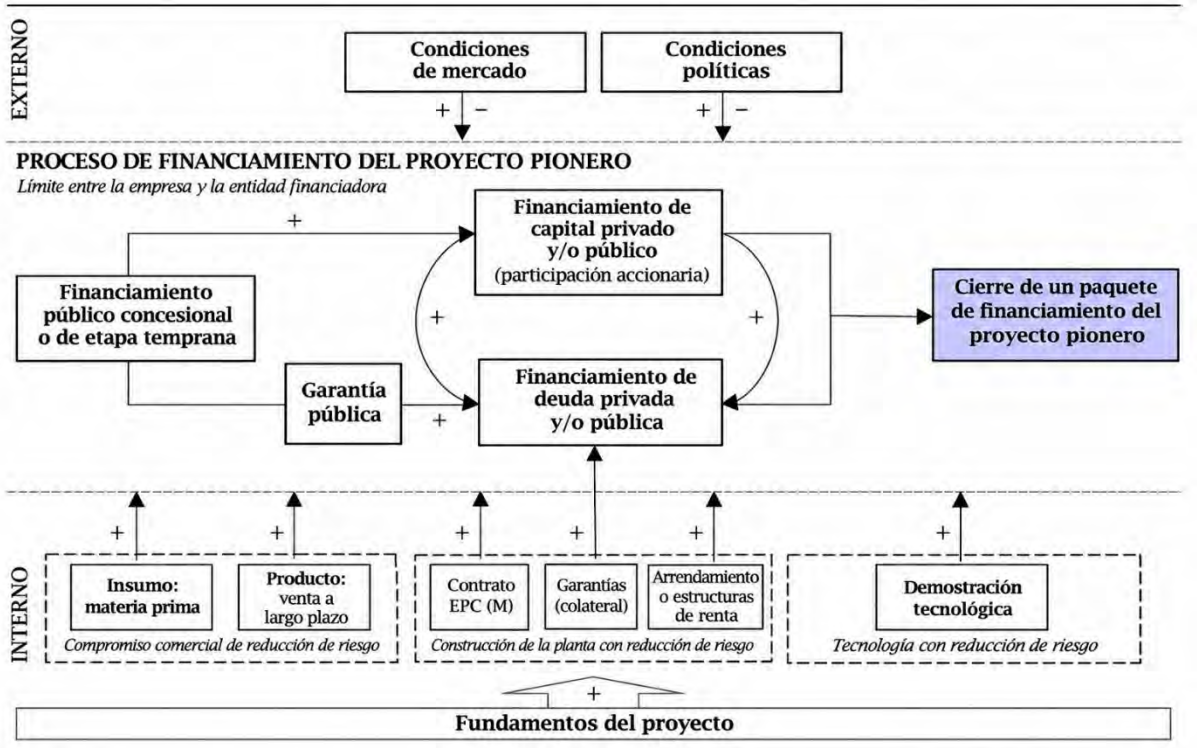
## 5.2 Mayor énfasis en la innovación, la demostración y la ampliación de escala.

Una segunda diferencia radica en el papel inusualmente importante de la incertidumbre tecnológica. La política industrial tradicional a menudo ha apoyado la innovación y las industrias nacientes, pero muchas transiciones industriales verdes requieren el desarrollo simultáneo de tecnologías, capacidad de producción, infraestructura, proveedores y mercados.

Esto es especialmente importante para las instalaciones industriales pioneras. Tecnologías como los procesos de producción basados en hidrógeno, algunos sistemas de electrificación de alta temperatura y configuraciones avanzadas de captura de carbono pueden haber sido demostradas técnicamente sin contar con un amplio historial comercial. Por lo tanto, sus costos de construcción, rendimiento operativo, requisitos de mantenimiento y valor de mercado pueden seguir siendo inciertos. Los prestamistas convencionales suelen ser reacios a financiar este tipo de proyectos debido a la dificultad para estimar los riesgos y a la escasez de transacciones comparables.

La figura 7 ilustra la complejidad de llevar a buen término un paquete de financiamiento para una planta precursora.

**Figura 7**Rutas para el cierre exitoso de un paquete de financiamiento para una planta pionera




**Fuente:** Traducción de imagen en Heikkinen (2025).

Las políticas industriales verdes requieren apoyo a lo largo de todo el ciclo de innovación:

- **La investigación y el desarrollo inicial** pueden requerir financiamiento público para la investigación, subvenciones para la innovación, colaboraciones entre universidades e industria y laboratorios compartidos.
- **Los proyectos piloto y de demostración** pueden requerir subvenciones, coinversión pública, instalaciones de prueba especializadas y apoyo para estudios de viabilidad e ingeniería.
- **Las primeras líneas de crédito comerciales** pueden requerir préstamos en condiciones favorables, garantías, capital propio a largo plazo, capital de primera pérdida y otras estructuras de financiamiento combinadas que asignen ciertos riesgos a agentes capaces de asumirlos.
- **La difusión comercial** puede requerir líneas de crédito, incentivos fiscales, asistencia técnica, desarrollo de proveedores y medidas para generar demanda.

Los instrumentos de financiamiento podrían no ser suficientes. Green Artha, un fondo privado indio especializado en la ampliación de tecnologías de descarbonización industrial pioneras, destaca la importancia de combinar capital con preparación de proyectos, asistencia técnica y apoyo a la comercialización. El fondo también sugiere que el financiamiento en condiciones favorables es más eficaz cuando se dirige a riesgos claramente identificados, como el riesgo de una tecnología pionera o los costes iniciales de desarrollo del proyecto, en lugar de utilizarse como subvención general.[22]

El financiamiento mixto puede ser especialmente valiosa en este contexto (véase el recuadro 2 ). El capital público o en condiciones favorables puede absorber riesgos específicos, mejorar las condiciones de financiamiento o proporcionar plazos de vencimiento más largos, lo que permite que el capital privado participe en proyectos que de otro modo evitaría. Sin embargo, el financiamiento mixto no puede compensar indefinidamente la ausencia de una vía de transición

[22] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

viable, por lo que debe utilizarse para abordar riesgos temporales y deficiencias en el desarrollo del mercado, junto con políticas que mejoren la viabilidad económica del proyecto.

**Recuadro 2Instrumentos de financiamiento: la importancia del financiamiento mixto y el financiamiento de la transición para la política industrial verde.**

Los proyectos de transición industrial verde suelen verse perjudicados por el financiamiento comercial convencional. Pueden requerir una elevada inversión inicial, implicar tecnologías que no se han probado a gran escala, depender de una demanda futura incierta de productos de bajas emisiones y generar rentabilidad únicamente a largo plazo. Estas características pueden hacer que proyectos que, de otro modo, serían socialmente deseables, parezcan demasiado arriesgados o insuficientemente rentables para los prestamistas e inversionistas comerciales. El financiamiento mixto y el financiamiento de la transición abordan diferentes aspectos de este problema: el financiamiento mixto se centra en cómo se estructuran el capital y los riesgos, mientras que el financiamiento de la transición se centra en qué actividades de descarbonización pueden financiarse.

**Financiamiento mixto.** El financiamiento mixto consiste en la combinación estratégica de recursos públicos o filantrópicos en condiciones favorables —como subvenciones, garantías, capital de primera pérdida, financiamiento subordinada o préstamos a tipos inferiores a los del mercado— con capital comercial. Su objetivo es mejorar el perfil de riesgo-rentabilidad de las inversiones que no se llevarían a cabo en condiciones puramente comerciales y, de este modo, movilizar financiamiento privada adicional.

Las estructuras de financiamiento mixta pueden adoptar diversas formas, según las barreras del proyecto y la tolerancia al riesgo de los inversionistas participantes. Las subvenciones o los mecanismos de preparación del proyecto pueden cubrir los estudios de viabilidad y otros costes iniciales; las garantías pueden proteger a los prestamistas frente a riesgos específicos; el capital subordinado o de primera pérdida puede absorber las pérdidas iniciales; y los préstamos en condiciones favorables pueden reducir los costes de financiamiento o ampliar los plazos de vencimiento. El principio fundamental es que los recursos en condiciones favorables deben utilizarse selectivamente para abordar riesgos específicos o deficiencias de viabilidad, en lugar de sustituir el financiamiento que, de otro modo, habría aportado el sector privado.

Este enfoque es particularmente importante para las instalaciones industriales pioneras, las tecnologías emergentes y la infraestructura facilitadora, donde los riesgos tecnológicos, de construcción, de mercado y de políticas pueden ser demasiado elevados para los inversionistas convencionales. Al asignar estos riesgos a las instituciones mejor capacitadas para asumirlos, el financiamiento mixto puede ayudar a convertir conceptos de proyectos prometedores en inversiones viables y respaldar su progresión desde la fase de demostración hasta la escala comercial.

**Financiamiento de transición.** El financiamiento de transición apoya reducciones creíbles de emisiones en sectores y actividades que no cumplen de inmediato con los criterios de elegibilidad habituales del financiamiento verde. Esta última se centra generalmente en actividades que ya son bajas en carbono o que se ajustan claramente a clasificaciones ambientales establecidas, como la electricidad renovable o las tecnologías maduras de eficiencia energética. Este enfoque es fundamental, pero puede que no abarque todas las necesidades de inversión de las industrias con altas emisiones.

(Continua en la siguiente página)

**Recuadro 2Instrumentos de financiamiento: la importancia del financiamiento mixto y el financiamiento de la transición para la política industrial verde.**

En sectores difíciles de descarbonizar, como el siderúrgico, el cementero y el químico, puede que aún no sea técnicamente factible ni comercialmente viable sustituir los procesos existentes. La descarbonización puede requerir una serie de inversiones, que incluyen mejoras en la eficiencia, electrificación, cambio de combustibles y materias primas, rediseño de procesos, captura de carbono, infraestructuras facilitadoras y la sustitución gradual de los activos existentes. El financiamiento de la transición permite respaldar estas medidas intermedias si forman parte de una estrategia creíble y con plazos definidos hacia una descarbonización profunda.

Esta flexibilidad debe ir acompañada de salvaguardias. Financiar mejoras marginales sin una estrategia de transición clara a largo plazo puede prolongar la vida útil de activos con altas emisiones de carbono y generar dependencia tecnológica o de emisiones. Por lo tanto, un financiamiento creíble para la transición requiere vías específicas para cada sector, objetivos medibles de reducción de emisiones, criterios de elegibilidad transparentes, seguimiento y verificación, y coherencia con los objetivos climáticos a largo plazo. Los casos internacionales demuestran que el financiamiento para la transición es más creíble cuando se integra en taxonomías claras, marcos normativos y sistemas de información sólidos.

**En materia de política industrial verde, ambos enfoques son complementarios.** El financiamiento de la transición amplía el abanico de inversiones industriales que pueden recibir legítimamente apoyo alineado con el clima, mientras que el financiamiento mixto proporciona las estructuras financieras necesarias para que dichas inversiones sean viables y atraigan capital privado. En conjunto, permiten a los gobiernos y a las instituciones financieras de desarrollo apoyar a las empresas en las distintas etapas de la transformación industrial, desde el desarrollo y la demostración de tecnologías hasta su primera implementación comercial y su difusión a gran escala. Sin embargo, su eficacia depende de una estrecha alineación con las estrategias industriales, de vías de transición creíbles y de medidas complementarias para generar demanda, desarrollar infraestructuras y fortalecer las capacidades tecnológicas.

**Fuente:** Cambridge Industrial Innovation Policy. DFI instruments and mechanisms for supporting green industrial transitions. Por publicarse; Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

## 5.3 Mayor coordinación de la inversión en infraestructura e industria

La infraestructura siempre ha formado parte de la política industrial, pero lo que distingue a la política industrial verde es la medida en que la viabilidad de un proyecto industrial puede depender de una infraestructura nueva que aún no existe. La electrificación industrial puede requerir el refuerzo de la red eléctrica, nuevas subestaciones y generación adicional de bajas emisiones de carbono. La producción basada en hidrógeno requiere un suministro, transporte y almacenamiento fiables de este elemento. Los proyectos de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) requieren la recolección de dióxido de carbono, gasoductos, redes de transporte compartidas, sitios de almacenamiento y mecanismos de responsabilidad. Los modelos de producción circular dependen de sistemas de recolección, clasificación y reciclaje. Estas inversiones suelen involucrar a diferentes propietarios, reguladores, tecnologías y cronogramas de construcción.

El resultado es un problema de coordinación. Una empresa industrial puede mostrarse reacia a invertir antes de que se garantice la infraestructura necesaria, mientras que el proveedor de infraestructura puede mostrarse reacio a invertir antes de que exista una demanda industrial

suficiente. La evaluación individual de cada proyecto no puede resolver este problema, ya que la viabilidad de cada inversión depende de las demás.

Además, la infraestructura que sustenta las transiciones industriales verdes debe ser resiliente al clima. La infraestructura de energía, transporte, agua y comunicaciones está cada vez más expuesta a riesgos relacionados con el clima, como olas de calor, inundaciones y sequías, que pueden dañar los activos e interrumpir los servicios de los que depende la producción industrial. Debido a la alta interdependencia de los sistemas de infraestructura, las fallas en una red pueden generar interrupciones en cascada en otras. Por lo tanto, la política industrial verde debe coordinar no solo la expansión y la descarbonización de la infraestructura habilitadora, sino también su adaptación a las futuras condiciones climáticas. Los riesgos climáticos deben incorporarse desde el principio en la planeación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de la infraestructura, lo que ayuda a evitar la vulnerabilidad permanente de los activos y a proteger la confiabilidad y la continuidad de los sistemas industriales.

Por lo tanto, la política industrial verde debe operar a nivel de sistemas y clústeres industriales, así como de empresas individuales. Entre los instrumentos se incluyen la planeación coordinada de infraestructuras, centros de descarbonización industrial, inversión pública o regulada en servicios públicos, activos e instalaciones compartidas, planeación territorial, agilización de permisos y mecanismos para agrupar la demanda entre diversos usuarios industriales.

Esto hace que la secuencia de las políticas sea especialmente importante. Las instalaciones de producción, los sistemas energéticos, la infraestructura de transporte, las normas y los programas de formación de personal deben desarrollarse con plazos compatibles. Un subsidio para equipos industriales tendrá un efecto limitado si la planta tiene que esperar años para conectarse a la red eléctrica o acceder a materias primas bajas en carbono.

## 5.4 Un equilibrio más difícil entre la descarbonización y el desarrollo económico local

La política industrial tradicional suele condicionar el apoyo público a factores como el contenido nacional, los compromisos de empleo, los objetivos de exportación, la transferencia de tecnología o la I+D local. Estas condiciones buscan garantizar que los recursos públicos generen beneficios para el desarrollo en general, en lugar de limitarse a aumentar los beneficios de las empresas.

Estos objetivos siguen siendo importantes en la política industrial verde, especialmente para los países en desarrollo. Idealmente, la descarbonización industrial debería fortalecer las capacidades tecnológicas nacionales, crear empleo cualificado y expandir las cadenas de suministro locales. Sin estos vínculos, los países podrían volverse dependientes de equipos y conocimientos técnicos importados, capturando solo una pequeña parte del valor económico generado por la transición. Sin embargo, la condicionalidad puede ser más difícil de aplicar cuando los proyectos verdes apenas son comercialmente viables. Un requisito estricto para utilizar tecnología local más cara o menos probada puede aumentar los costos y los riesgos. Como lo expresó un funcionario del Banco Asiático de Desarrollo:

> Si los proyectos de descarbonización industrial apenas son viables financieramente con la tecnología importada más reciente, sin duda son inviables si se utilizan tecnologías locales menos desarrolladas.[23]

Esto genera una tensión política real. Unas condiciones débiles pueden permitir que el apoyo público financie soluciones importadas llave en mano con escaso conocimiento local. Y unas

[23] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse. Traducción propia.

condiciones excesivamente exigentes pueden impedir por completo que se realice la inversión. Un enfoque más realista podría ser el uso **de condicionalidades progresivas y orientadas a las capacidades** . En lugar de exigir un alto contenido local desde el principio, los gobiernos podrían establecer requisitos por etapas vinculados a la madurez de los proveedores nacionales. El apoyo también podría estar condicionado a la formación de la mano de obra, las alianzas con organizaciones de investigación locales, los programas de desarrollo de proveedores, la capacidad de mantenimiento nacional, el intercambio de datos o la localización gradual de determinados componentes y servicios.

Por lo tanto, las condiciones deben estar alineadas con las capacidades existentes y acompañadas de medidas que ayuden a las empresas nacionales a cumplirlas. Es improbable que los requisitos de contenido local, sin desarrollo de proveedores, financiamiento, estándares y asistencia técnica, generen industrias locales competitivas.

## 5.5 Definiciones y salvaguardias ambientales más claras

La política industrial tradicional debe determinar qué empresas, sectores y actividades cumplen los requisitos para recibir apoyo. Sin embargo, la política industrial verde se enfrenta a una pregunta adicional: **¿Qué se considera verde o una actividad de transición creíble?** Y esta no siempre es una pregunta sencilla. Financiar una planta de energía renovable es relativamente fácil de clasificar, pero evaluar una inversión que reduce parcialmente las emisiones de una acería, refinería o planta química es más difícil. El proyecto puede lograr reducciones significativas a corto plazo mientras continúa utilizando combustibles fósiles. Alternativamente, puede argumentar que la futura conversión a hidrógeno o la captura de carbono producirán reducciones aún mayores, aunque esas condiciones futuras son inciertas.

Por lo tanto, las taxonomías verdes, las hojas de ruta sectoriales y los criterios de elegibilidad constituyen importantes instrumentos de política. Las taxonomías definen qué actividades cumplen con umbrales ambientales específicos, y las hojas de ruta de transición permiten evaluar si las inversiones incrementales son coherentes con una trayectoria sectorial creíble a largo plazo. Ambos enfoques pueden contribuir a orientar el financiamiento y el apoyo público, si bien ninguno elimina la necesidad de un análisis específico para cada caso.

Las taxonomías existentes ilustran diferentes maneras de abordar este problema. La **Taxonomía de la UE para las Actividades Sostenibles,**[24] por ejemplo, establece criterios técnicos de evaluación para las actividades económicas en todos los sectores, incluidas las industrias con altas emisiones, como la siderúrgica, la cementera, la del aluminio y la química. Una actividad debe contribuir sustancialmente a un objetivo ambiental, cumpliendo al mismo tiempo los requisitos de “no causar daños significativos” y las salvaguardias mínimas, lo que proporciona una base relativamente rigurosa para determinar qué inversiones pueden clasificarse como ambientalmente sostenibles.

Está surgiendo un enfoque diferente a través de **taxonomías de transición específicas para cada sector**. En la provincia de Zhejiang, China, una taxonomía para el financiamiento de la transición en la industria textil[25] identifica alrededor de setenta vías técnicas para reducir la intensidad ambiental y de carbono de las actividades en materia de materias primas, hilado, tejido, teñido y fabricación textil. Se utiliza junto con sistemas de seguimiento y verificación para determinar la elegibilidad para préstamos de transición, lo que permite que el financiamiento apoye a empresas que aún no son "verdes", pero que están implementando mejoras cuantificables a lo largo de una vía de transición identificada.[26]

---

[24] European Commission (2026). EU taxonomy for sustainable activities.

[25] National Standards Information Public Service Platform (SPC) (2024). Taxonomy of Economic Activities for Transition Finance in Textile Industry.

[26] Para un análisis detallado, véase CIIP. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*.

Los criterios mal diseñados generan dos riesgos opuestos: los criterios demasiado permisivos pueden favorecer actividades que prolonguen la producción con altas emisiones de carbono o generen mejoras marginales; y los criterios demasiado restrictivos pueden excluir el financiamiento a las industrias difíciles de descarbonizar, a pesar de su necesidad de realizar inversiones por etapas antes de que estén disponibles tecnologías totalmente bajas en carbono.

Las políticas industriales verdes también deben considerar los impactos ambientales más allá de las emisiones de carbono. Algunas tecnologías bajas en carbono pueden generar presiones relacionadas con el uso del agua, la tierra, la biodiversidad, los residuos o la extracción de minerales críticos. Por lo tanto, los marcos de elegibilidad deben incluir salvaguardias para evitar la transferencia de daños ambientales de un área a otra.

## 5.6 Seguimiento más exigente y evaluación multidimensional del éxito de las políticas.

El seguimiento es fundamental en toda política industrial. Los programas tradicionales suelen evaluar los resultados mediante la inversión, la producción, la productividad, las exportaciones, el empleo o la modernización tecnológica. La política industrial verde debe mantener estos indicadores, incorporando además el desempeño ambiental como dimensión central de la evaluación de políticas.

Entre los indicadores ambientales pertinentes se incluyen las reducciones absolutas de emisiones, la intensidad de las emisiones por unidad de producción, las emisiones del ciclo de vida, la eficiencia energética y de los materiales, la proporción de insumos reciclados o con bajas emisiones de carbono, el progreso hacia los hitos de la transición sectorial y otros efectos ambientales como el uso del agua, la contaminación y los residuos.

Estos resultados suelen ser más difíciles de medir y verificar que los indicadores económicos convencionales. La reducción de emisiones depende de la línea de base utilizada, los límites de la medición y las suposiciones sobre lo que habría ocurrido sin la política. Los proyectos que implican investigación, demostración o infraestructura facilitadora pueden tardar muchos años en generar reducciones de emisiones cuantificables, por lo que es fundamental distinguir claramente los impactos futuros estimados de los resultados observados.

Es fundamental contar con sistemas sólidos de seguimiento, información y verificación tanto para la rendición de cuentas como para el aprendizaje en materia de políticas. Estos sistemas permiten determinar si las tecnologías respaldadas funcionan según lo previsto, si el financiamiento público genera inversiones adicionales y si las políticas deben ampliarse, rediseñarse o suspenderse. La verificación independiente, las metodologías transparentes y los datos accesibles también pueden reducir los riesgos de la manipulación de la información sobre tecnologías verdes y de transición energética.

El seguimiento también puede vincularse a incentivos. Los precios de los préstamos, las subvenciones o los beneficios fiscales pueden ajustarse cuando se cumplen o no los objetivos ambientales verificados. El Préstamo para la Transición Textil del Banco Comercial Rural de Changxing en Huzhou, China, por ejemplo, vincula las condiciones de financiamiento a criterios de elegibilidad específicos del sector y al desempeño verificado de la transición, lo que demuestra cómo los instrumentos financieros habituales pueden adaptarse a los objetivos ambientales.[27]

De manera más fundamental, estos requisitos de medición adicionales reflejan una diferencia más amplia en lo que constituye **el éxito de una política**. La política industrial tradicional generalmente se centra en la transformación económica: productividad, aprendizaje tecnológico,

[27] Cambridge Industrial Innovation Policy. *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*. Por publicarse.

exportaciones, empleo, inversión y cambio estructural. La política industrial verde conserva estos objetivos, pero añade la reducción de emisiones y la integridad ambiental como metas centrales. Un programa no puede considerarse exitoso por atraer inversiones o crear empleos si no produce mejoras ambientales creíbles. Por el contrario, una política que reduce las emisiones principalmente mediante la importación de tecnologías puede contribuir a los objetivos climáticos, pero generando una capacidad nacional o una diversificación económica limitadas.

Por lo tanto, la evaluación debe considerar tres dimensiones interrelacionadas:

1. **Desempeño ambiental:** si las emisiones y otros impactos ambientales han disminuido de manera creíble y duradera.
2. **Desempeño económico:** si la política ha mejorado la productividad, la competitividad, la inversión y el desarrollo del mercado.
3. **Capacidad y desempeño distributivo:** si ha fortalecido las capacidades tecnológicas nacionales, las cadenas de suministro y las habilidades, y si sus costos y beneficios se distribuyen de manera equitativa.

Estos objetivos pueden reforzarse mutuamente, pero también pueden ser contradictorios. Una política industrial verde requiere sistemas de evaluación capaces de monitorear múltiples resultados simultáneamente y explicitar las compensaciones, en lugar de asumir que toda inversión verde generará automáticamente resultados sólidos en el desarrollo industrial.

## 5.7 ¿Cómo integrarlo todo? Una mayor necesidad de paquetes de políticas coordinadas.

Debido a los numerosos desafíos que implica la implementación exitosa de políticas industriales verdes, resulta fundamental implementarlas mediante paquetes de políticas coordinadas, en lugar de instrumentos aislados. Los gobiernos recurren cada vez más a estrategias y hojas de ruta industriales de alto nivel para organizar sus paquetes de políticas en torno a objetivos comunes. Estas estrategias articulan ambiciones a largo plazo, identifican sectores y tecnologías prioritarias, establecen metas de producción o despliegue, coordinan las inversiones en infraestructura y capacitación, asignan responsabilidades institucionales y proporcionan un marco para la secuenciación de medidas políticas complementarias. De este modo, reducen la incertidumbre política y demuestran el compromiso gubernamental a largo plazo, incentivando la inversión privada.

Las recientes estrategias industriales verdes ilustran este cambio. La “Iniciativa Industrial Verde 2.0” de Noruega, por ejemplo, define como objetivo general la creación de valor social, ambiental y económicamente sostenible, identificando nueve áreas industriales prioritarias. Complementa estas prioridades con acciones transversales en materia de energía, infraestructura, capital, capacitación, investigación, gobernanza y cooperación regional. La hoja de ruta plantea que estos elementos están interconectados, argumentando que una transformación industrial exitosa requiere una acción coordinada en múltiples ámbitos políticos, en lugar de intervenciones aisladas (Recuadro 3 ).[28]

De igual modo, el programa “El futuro de Australia, hecho en Australia” establece un marco nacional para identificar las industrias prioritarias en el marco de los objetivos de transformación hacia la neutralidad de carbono y la resiliencia económica, vinculando la priorización sectorial con incentivos a la inversión, financiamiento sostenible, apoyo a la innovación, desarrollo de la fuerza laboral, planeación de infraestructuras y reforma regulatoria. En lugar de introducir nuevos instrumentos de política, la estrategia proporciona un marco organizativo que armoniza los

[28] Norwegian Ministry of Trade, Industry and Fisheries (2024). *The Green Industrial Initiative. Roadmap 2.0.*

instrumentos existentes con objetivos industriales claramente definidos y facilita su implementación coordinada.[29]

Como demuestran estos ejemplos, la política industrial verde se caracteriza cada vez más no por instrumentos novedosos, sino por una mayor coordinación estratégica. Las estrategias de alto nivel proporcionan la arquitectura institucional dentro de la cual los subsidios, las finanzas públicas, las compras públicas, la regulación, las políticas de capacitación y las inversiones en infraestructura pueden combinarse en políticas coherentes, adaptadas a las necesidades de sectores y regiones específicos, y sostenidas a largo plazo, necesarias para la transformación industrial.

**Recuadro 3Estrategias de alto nivel como marcos para la política industrial verde: los casos de Australia y Noruega.**

Las recientes estrategias industriales verdes ilustran cómo los gobiernos están pasando de medidas políticas aisladas a marcos integrados que coordinan la inversión, la innovación, la infraestructura y el desarrollo de la fuerza laboral en torno a objetivos de transformación industrial a largo plazo.

La estrategia “Futuro Hecho en Australia” está diseñada para posicionar al país y aprovechar las oportunidades económicas derivadas de la transición global hacia la neutralidad de carbono, al tiempo que fortalece la resiliencia económica y la seguridad nacional. En lugar de centrarse en programas individuales, establece un marco de interés nacional que identifica sectores prioritarios y coordina instrumentos de política en torno a objetivos industriales compartidos. La estrategia prioriza industrias como las energías renovables, los minerales críticos, los metales “verdes”, las baterías, el hidrógeno y la manufactura limpia, y combina incentivos a la inversión específicos con apoyo a la innovación, financiamiento en condiciones favorables, desarrollo de habilidades, inversión en infraestructura, reforma regulatoria y medidas para movilizar capital privado.

Entre las medidas específicas se incluyen incentivos fiscales a la producción para el procesamiento de minerales críticos, mayor financiamiento a través de la Corporación de Financiamiento de Energía Limpia y el Fondo Nacional de Reconstrucción, inversiones en infraestructura de transmisión mediante el programa Rewiring the Nation e iniciativas de desarrollo laboral para ampliar la capacitación e incrementar la participación de las mujeres en ocupaciones de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Al integrar estas medidas complementarias en un marco estratégico único, la iniciativa busca reducir la incertidumbre en las inversiones y acelerar el desarrollo de nuevas capacidades industriales.

Iniciativa Industrial Verde 2.0 de Noruega adopta un enfoque integrado similar. Define el objetivo general de la política industrial como la promoción de la creación de valor social, ambiental y económicamente sostenible, al tiempo que apoya la transición hacia una economía de bajas emisiones. La estrategia identifica nueve áreas industriales prioritarias: energía eólica marina, baterías, hidrógeno, captura y almacenamiento de carbono, industrias de procesos, manufactura, industria solar, industria marítima y sectores forestales y de bioeconomía. Asimismo, reconoce que su desarrollo depende de un conjunto común de condiciones propicias, entre las que se incluyen energía limpia asequible, infraestructura, acceso a capital, investigación e innovación, mano de obra cualificada, mercados de exportación y una gobernanza eficaz.

(Continua en la siguiente página)

[29] Australian Government (2024). *Future Made in Australia.*

**Recuadro 3Estrategias de alto nivel como marcos para la política industrial verde: los casos de Australia y Noruega.**

Entre las medidas concretas se incluyen el objetivo de que al menos el 30% de las compras públicas incorporen criterios ecológicos, un mayor apoyo a los proyectos piloto y de demostración, el fortalecimiento de los planes de financiamiento y garantía de exportaciones para las industrias verdes, la inversión en infraestructura de captura y almacenamiento de carbono, y la creación de un Consejo de la Industria Verde para coordinar la implementación entre el gobierno, la industria, los interlocutores sociales y las instituciones de investigación.

A pesar de las diferencias en el contexto nacional y la estructura industrial, ambas estrategias reflejan una comprensión común de la política industrial verde. En lugar de introducir nuevos instrumentos políticos, ambas organizan herramientas ya conocidas dentro de estrategias coherentes a largo plazo, lo que demuestra un compromiso gubernamental sostenido.

**Fuente:** Australian Government (2024). A Future Made in Australia; Norwegian Ministry of Trade, Industry and Fisheries (2024). *The Green Industrial Initiative. Roadmap 2.0.*

# 6. Conclusiones e implicaciones para los países en desarrollo

Esta nota ha analizado la política industrial verde como respuesta a los desafíos tecnológicos, económicos e institucionales interconectados que plantea la transformación de la producción industrial. Su conclusión principal es que la transición industrial verde no se limita a la adopción de equipos más limpios, sino que implica cambios en las tecnologías de producción, los insumos energéticos y materiales, la infraestructura, los mercados y las capacidades productivas. Una solución técnicamente viable puede resultar poco atractiva comercialmente, mientras que un proyecto económicamente prometedor puede verse imposibilitado por la falta de la infraestructura, las competencias o las instituciones de apoyo necesarias.

Por lo tanto, la política industrial verde se diferencia de la política industrial tradicional no tanto por un conjunto de instrumentos completamente nuevos, sino por las exigencias que plantea su diseño e implementación. Se utilizan herramientas conocidas para abordar la mayor incertidumbre tecnológica, generar demanda de mejoras ambientales, coordinar las inversiones en los sistemas industriales y verificar los resultados más allá de los indicadores económicos convencionales. En consecuencia, la unidad de análisis pertinente es el **conjunto de políticas,** en lugar de la subvención, el préstamo o la regulación individual.

Para los países en desarrollo, este análisis destaca seis consideraciones interrelacionadas:

**Las trayectorias de transición dependen de las necesidades sectoriales y las capacidades existentes.** Los pilares comunes de la descarbonización industrial proporcionan un marco para el análisis, pero no un programa de inversión uniforme. Su aplicación depende de los procesos de producción, los activos existentes, las condiciones locales de energía e infraestructura, la madurez tecnológica y los costos. Por lo tanto, un mismo instrumento o tecnología puede abordar una limitación importante en una industria, mientras que tiene una relevancia limitada en otra. Para los países en desarrollo, esto hace que la comprensión de las estructuras y capacidades industriales nacionales sea fundamental para evaluar vías de transición viables. También distingue entre dos tareas paralelas: la difusión de soluciones disponibles comercialmente que puedan generar mejoras a corto plazo; y el desarrollo de las capacidades y los sistemas de apoyo necesarios para un cambio tecnológico más profundo. Considerar la transición como la mera adopción de tecnologías maduras o la inversión en avances tecnológicos ignora parte del desafío.

**El desarrollo de capacidades nacionales es un objetivo específico, no una consecuencia automática de la descarbonización.** Una inversión puede reducir las emisiones si se depende de equipos y conocimientos importados. Del mismo modo, imponer condiciones exigentes de contenido nacional antes de que los proveedores locales puedan cumplirlas puede aumentar los costos y los riesgos, lo que podría impedir la inversión. Por lo tanto, la relación entre la descarbonización y el desarrollo industrial implica un problema de secuenciación, más que una simple elección entre tecnología importada y nacional. La nota de política identifica condiciones progresivas y orientadas a las capacidades como un posible enfoque: vincular el apoyo a la formación de la mano de obra, las colaboraciones en investigación, el desarrollo de proveedores, las capacidades de mantenimiento o la localización gradual de componentes y servicios seleccionados. Estos acuerdos conectan la inversión con el aprendizaje nacional sin presuponer que todas las capacidades ya deben estar presentes. También amplían el significado de la industrialización verde más allá de la fabricación de equipos para incluir la ingeniería, los servicios técnicos y otros servicios industriales que respaldan su uso.

**La creación de mercados y el desarrollo de infraestructuras forman parte de la inversión industrial, no son actividades de apoyo independientes.** Ampliar la capacidad de producción no garantiza necesariamente un mercado para productos de bajas emisiones, sobre todo cuando los compradores no están dispuestos a asumir los costes adicionales. Del mismo modo, la

inversión en una planta industrial puede depender de redes eléctricas, suministro de materias primas, transporte o instalaciones compartidas que deben proporcionar otras organizaciones. Diseñar un paquete de políticas coherente implica identificar estas dependencias y alinear los compromisos, las responsabilidades y los calendarios de implementación correspondientes. Las adquisiciones, las normas y los acuerdos de compra abordan diferentes aspectos de la demanda, mientras que la planeación coordinada de infraestructuras aborda las condiciones físicas para la producción. La propia infraestructura también se enfrenta a riesgos climáticos que pueden perturbar la actividad industrial. Para los países en desarrollo, esto implica que la viabilidad de una transición industrial propuesta depende del sistema de producción en su conjunto y no solo de la tecnología o la situación financiera de una empresa individual.

**El acceso al capital es solo una parte del desafío del financiamiento.** Algunos proyectos carecen de financiamiento adecuado debido a que sus tecnologías son desconocidas o sus horizontes de inversión son extensos. Otros se enfrentan a problemas sin resolver relacionados con la preparación del proyecto, la disponibilidad de infraestructura o la demanda futura. Estas diferencias son importantes porque el financiamiento adicional por sí sola no puede resolver todas las barreras. La nota identifica el financiamiento mixto (que modifica la estructuración del capital y los riesgos) y el financiamiento de la transición (que amplía el abanico de actividades de descarbonización creíbles que pueden recibir apoyo) como prácticas de financiamiento relevantes. Ambas prácticas pueden combinarse con estudios de viabilidad, apoyo de ingeniería y asistencia técnica. Para los gobiernos y las instituciones financieras de desarrollo, esto convierte la identificación de riesgos específicos y brechas de viabilidad en una parte importante del diseño del financiamiento. Los recursos públicos o en condiciones favorables pueden posibilitar inversiones que de otro modo no se llevarían a cabo, pero no pueden compensar indefinidamente la ausencia de una vía de transición viable o un mercado que funcione.

**La continuidad de las políticas y las taxonomías claras fomentan la confianza en la inversión y la credibilidad ambiental.** Las empresas industriales y los inversionistas necesitan claridad sobre la dirección a largo plazo antes de comprometerse con tecnologías, instalaciones de producción e infraestructura con una larga vida útil. Los objetivos predecibles, los cronogramas de implementación y los marcos de apoyo pueden brindar esta confianza, al tiempo que permiten que los instrumentos individuales evolucionen a medida que las tecnologías maduran y se acumula experiencia en la implementación. Las taxonomías claras para las actividades verdes y de transición complementan esta previsibilidad al especificar qué actividades califican para recibir apoyo y los umbrales ambientales o requisitos de transición con los que se evalúan. Para los gobiernos, las instituciones financieras de desarrollo y otros actores de apoyo, estas clasificaciones proporcionan una base para identificar la evidencia necesaria para evaluar la elegibilidad y fundamentar las afirmaciones ambientales, pero las taxonomías no sustituyen la evidencia de desempeño. Su aplicación depende de indicadores medibles, informes transparentes y verificación independiente, distinguiendo los resultados observados de las mejoras esperadas. Las definiciones claras y la evidencia creíble ayudan a los actores a distinguir entre el progreso ambiental genuino y las afirmaciones sin fundamento, reduciendo el margen para las prácticas de *greenwashing*.

**La implementación depende de las capacidades institucionales y técnicas, así como de los recursos financieros.** Las exigencias de coordinación descritas en esta nota requieren conocimiento de los procesos industriales, capacidad para evaluar tecnologías desconocidas y acuerdos para la colaboración entre empresas, proveedores de infraestructura, organizaciones de investigación y organismos públicos. A nivel empresarial, la limitación de recursos de ingeniería y el acceso a conocimientos especializados pueden restringir la adopción, especialmente entre las PyME. A nivel sistémico, la falta de instalaciones de prueba, normas, certificación y personal cualificado puede impedir que las tecnologías alcancen la escala comercial. Las estrategias de alto nivel pueden organizar estas actividades interdependientes estableciendo objetivos, asignando responsabilidades y secuenciando medidas, pero la ejecución sigue dependiendo de las capacidades de las organizaciones involucradas. Por lo

tanto, los ejemplos de países que se presentan en esta nota son ilustraciones útiles de las funciones y combinaciones de las políticas, más que paquetes prefabricados que puedan transferirse sin modificaciones. Los mecanismos de implementación de un país en desarrollo deben entenderse junto con sus ambiciones industriales.

Estas consideraciones demuestran por qué no se puede asumir que la inversión verde derive automáticamente la reducción de emisiones o el crecimiento de la industria nacional. El reto para los países en desarrollo consiste en vincular vías creíbles de descarbonización con el desarrollo de capacidades productivas, reconociendo al mismo tiempo las limitaciones y las compensaciones que esto implica. La política industrial verde proporciona un marco para examinar estas conexiones: entre las industrias existentes y las nuevas actividades, entre el apoyo financiero y el no financiero, y entre los proyectos individuales y los sistemas de los que dependen. Sus resultados, en última instancia, dependen de cómo interactúan estos elementos, más que de la existencia de un único instrumento.

## Sobre nosotros

Cambridge Industrial Innovation Policy (CIIP) tiene su sede en el Institute for Manufacturing (IfM), que forma parte del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Cambridge. CIIP reúne al Centre for Science, Technology & Innovation Policy del IfM, la Policy Links Unit de IfM Engage y el Babbage Policy Forum.

17 Charles Babbage Road, Cambridge, CB3 0FS, United Kingdom

ciip.group.cam.ac.uk

