

## Innovación y palancas de oferta como oportunidad para el crecimiento de las exportaciones en España durante la transición energética

### AUTORES

**Cristina Peñasco**

Departamento de  
Política y Estudios  
Internacionales  
Universidad de  
Cambridge

### RESUMEN EJECUTIVO

Este informe examina la posición de España en la economía verde, analizando sus capacidades productivas, la competitividad de sus exportaciones y su potencial de diversificación. Para ello, utiliza datos de inversión en I+D y del Navegador de la Transición Verde con el fin de identificar oportunidades para que España prospere en los mercados de exportaciones verdes en medio de la transición energética mundial.

El gasto español en I+D sigue siendo comparativamente bajo, un 1,44% del PIB (2022), muy por debajo del objetivo de la UE del 3%. Esta inversión limitada ha hecho que el ecosistema de innovación del país dependa de la financiación pública, mientras que la participación del sector privado es escasa. Esta estructura limita la capacidad de España para desarrollar una próspera cultura de startups capaz de comercializar la investigación y ampliarla a escala mundial. En este contexto, la I+D energética es una categoría destacada:

- Entre 2000 y 2022, España invirtió alrededor de 5.034 millones € en I+D energética, aproximadamente una cuarta parte de la inversión de Italia y una décima parte de la de Francia.
- La mayor parte (~90%) de esta inversión se destinó a fuentes con bajas emisiones de carbono, una proporción superior a la de los países vecinos.
- El gasto público en este ámbito se mantuvo por debajo de los 200 millones de euros anuales (salvo un pico en 2009-2012 coincidiendo con políticas favorables a las energías renovables), menos de una décima parte de la inversión de Francia.
- En 2021 se produjo un cambio radical, cuando el gasto superó los 1.000 millones de euros, impulsado por la financiación de NextGenEU y la diversificación hacia la eficiencia energética y el hidrógeno (>25% del total para cada una de estas categorías).
- A pesar de este aumento, España dedicó sólo el 0,55% del PIB a I+D en energía en 2021, frente al 1,3% de Francia en 2022.

## EsadeEcPol Insight Marzo 2025

Estas pautas de inversión en I+D influyen directamente en el posicionamiento de España en los mercados mundiales de exportaciones ecológicas. A pesar de las limitaciones, el país muestra signos prometedores de mejora en varios indicadores clave:

- En los rankings globales de complejidad verde, España ha mantenido posiciones entre la 13ª y la 17ª entre 2000 y 2022, por detrás de Alemania (1ª), Italia (3ª), Reino Unido (9ª) y Francia (10ª).
- España muestra un porcentaje bajo pero estable de las exportaciones mundiales de productos verdes, con un ligero aumento de las exportaciones de energías renovables del 4% al 6%.
- El país mejoró en el Índice Brown Lock-in, pasando del puesto 73 (2000) al 91 (2022), lo que indica una menor dependencia de las exportaciones perjudiciales para el medio ambiente, aunque sigue por detrás de otras grandes economías de la UE.
- En los últimos años, España ha pasado de la sexta posición (1999) a la tercera, lo que refleja un mayor potencial para desarrollar industrias ecológicas complejas.

El análisis de la competitividad de las exportaciones españolas revela tanto los puntos fuertes actuales como las oportunidades de desarrollo futuro en categorías específicas de productos ecológicos:

- España demuestra una competitividad excepcional en productos de reducción del ruido y las vibraciones y en tecnologías más limpias o eficientes en el uso de los recursos.
- El país ya es competitivo en energías renovables, pero los elevados costes energéticos de la industria y los cuellos de botella de las infraestructuras limitan su competitividad internacional. Además, España se ha centrado principalmente en las energías renovables a nivel nacional, lo que limita su potencial de exportación en comparación con Alemania y China en paneles solares y turbinas eólicas.

**A partir de estas conclusiones, surgen dos recomendaciones políticas clave para reforzar la posición de España en la transición verde:**

- Establecer un marco político coordinado para acelerar la difusión de tecnologías innovadoras en todas las industrias, alineando la inversión en descarbonización con las oportunidades de exportación: desarrollar un entorno normativo adaptable y previsible; fomentar la inversión privada en energías renovables mediante incentivos fiscales y mejores condiciones financieras; modernizar la infraestructura de red para integrar mejor las energías renovables y garantizar la seguridad energética.
- Impulsar las inversiones en innovación para cerrar la brecha tecnológica con las naciones líderes: aumentar la financiación de I+D en tecnologías energéticas; priorizar la investigación en tecnologías de almacenamiento y gestión de redes.

Línea de investigación:

Transición Verde

Dirigida por Pedro Linares

**esade**

EsadeEcPol - Center  
for Economic Policy

# Introducción

En los últimos años, la economía mundial ha experimentado un cambio hacia la sostenibilidad, urgida por la necesidad de abordar el cambio climático y la degradación del medio ambiente. A medida que la Unión Europea se embarca en su ambicioso viaje hacia la neutralidad en carbono para 2050, esbozado en el Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2019), el papel de los Estados miembros se vuelve fundamental. Este objetivo requiere un importante avance hacia fuentes de energía limpias y renovables, una mayor eficiencia energética y gestión de la demanda, y tecnologías innovadoras en todos los sectores de la economía. Para llevar a cabo con éxito esta transición, es necesario centrarse simultáneamente en la competitividad, la innovación ecológica y el cambio tecnológico. Este enfoque equilibrado concuerda con la insistencia del informe Draghi en impulsar la competitividad y la productividad de Europa para garantizar que la región pueda liderar la innovación y la sostenibilidad y asegurar un futuro económico resistente frente a los retos mundiales (Draghi, 2024).

De hecho, este cambio mencionado va más allá de la urgencia medioambiental y presenta un potencial tangible de beneficio económico (Zenghelis et al. 2024). Las tendencias recientes muestran que los avances tecnológicos y la reducción de costes en el sector energético han superado las previsiones de los expertos (Meng et al., 2021; Way et al. 2022; IRENA 2023). Sin embargo, para abordar el cambio climático con eficacia, debemos reforzar la innovación y la competitividad industrial en áreas como la generación, integración y almacenamiento de energías renovables, por ejemplo, mediante baterías, avanzar en la adquisición de vehículos eléctricos y mejorar la eficiencia energética en las infraestructuras de los edificios (IPCC, 2022). Además, es necesaria la innovación aplicada a la industria para descarbonizar la cadena de suministro de materiales críticos (Chiappinelli et al, 2021). También es crucial la aplicación de políticas nacionales que refuercen la innovación, como los mecanismos de apoyo al despliegue junto con los incentivos a la I+D, incluidas las tarifas de alimentación, las subastas de energía o los incentivos fiscales. Estas medidas son imprescindibles para aprovechar los beneficios económicos del crecimiento “verde” y “sostenible” y la expansión de los mercados verdes, al tiempo que se garantiza un acceso equitativo a sistemas energéticos sólidos, económicos y respetuosos con el medio ambiente (Zenghelis et al. 2022; Grubb et al. 2021). Es a esto último, y en particular al mercado de exportación de bienes ecológicos, a lo que prestaremos atención en este informe.

El concepto moderno de “crecimiento verde” (Bowen y Hepburn, 2014; Fouquet, 2019; entre otros) y, antes de eso, la Hipótesis de Porter (Porter y Linde, 1995) en su versión fuerte, abarcaban la posibilidad de riqueza, competitividad y bienestar sin ignorar los límites establecidos por nuestro medio ambiente (Stoknes y Rockström 2018; Zenghelis et al. 2022). La investigación ha identificado las fuentes de energía renovables como motores clave del crecimiento económico en numerosos países (Halkos y Gkampoura, 2020) y el crecimiento económico sostenido ha proporcionado tradicionalmente el camino más seguro para reducir la relación deuda/PIB (Nugée, 2020). Citando a Buitter et al. (2020), Zenghelis et al. (2022) concluyen que cuando los fondos públicos se destinan a mejorar la eficacia de las infraestructuras públicas o a aumentar la productividad de los activos privados, se puede impulsar el crecimiento económico y aumentar los ingresos fiscales. Por lo tanto,

en un contexto de presupuestos limitados, es imperativo dirigir las inversiones hacia activos que no solo impulsen la productividad, sino que también sean muy prometedores en los mercados emergentes configurados por las restricciones de carbono, garantizando que su valor no disminuya con el tiempo (Aghion et al. 2016).

Esta transición hacia una economía verde, caracterizada por una huella medioambiental reducida y una mayor eficiencia en el uso de los recursos, presenta tanto retos como oportunidades para las economías nacionales. España, con su singular panorama económico y sus políticas medioambientales, ofrece un caso de estudio pertinente para examinar la dinámica de esta transición. Este informe examina a través del análisis del caso español, en comparación con otras economías significativas, los motores de la oferta que pueden facilitar una transición suave hacia una economía descarbonizada y evalúa sus opciones y potencial para liderar una transformación verde efectiva de los mercados de exportación.

En concreto, siguiendo la metodología y los datos recogidos por Andrés y Mealy (2023) en el Navegador de la Transición Verde, este resumen pretende profundizar en las capacidades productivas, la competitividad exportadora y el potencial de diversificación de España dentro de la economía verde. Este documento explora hasta qué punto el país está preparado para prosperar en un mercado de buenas exportaciones de economía verde, en primer lugar mostrando el nivel actual de inversiones en I+D en comparación con otras economías europeas; y en segundo lugar, aprovechando un conjunto de datos de productos/categorías verdes para evaluar la competitividad de las exportaciones españolas y su potencial de diversificación. Identificamos las categorías de productos verdes mejor situadas para ser competitivas en el mercado de exportación de España y proporcionamos directrices de política (industrial) que pueden ayudar al país a transformar su economía en el contexto de la transición hacia economías descarbonizadas, fomentando al mismo tiempo la competitividad económica (véanse, por ejemplo, Rodrik, 2014, o Linares y Galindo, 2025, para profundizar en las políticas industriales españolas).

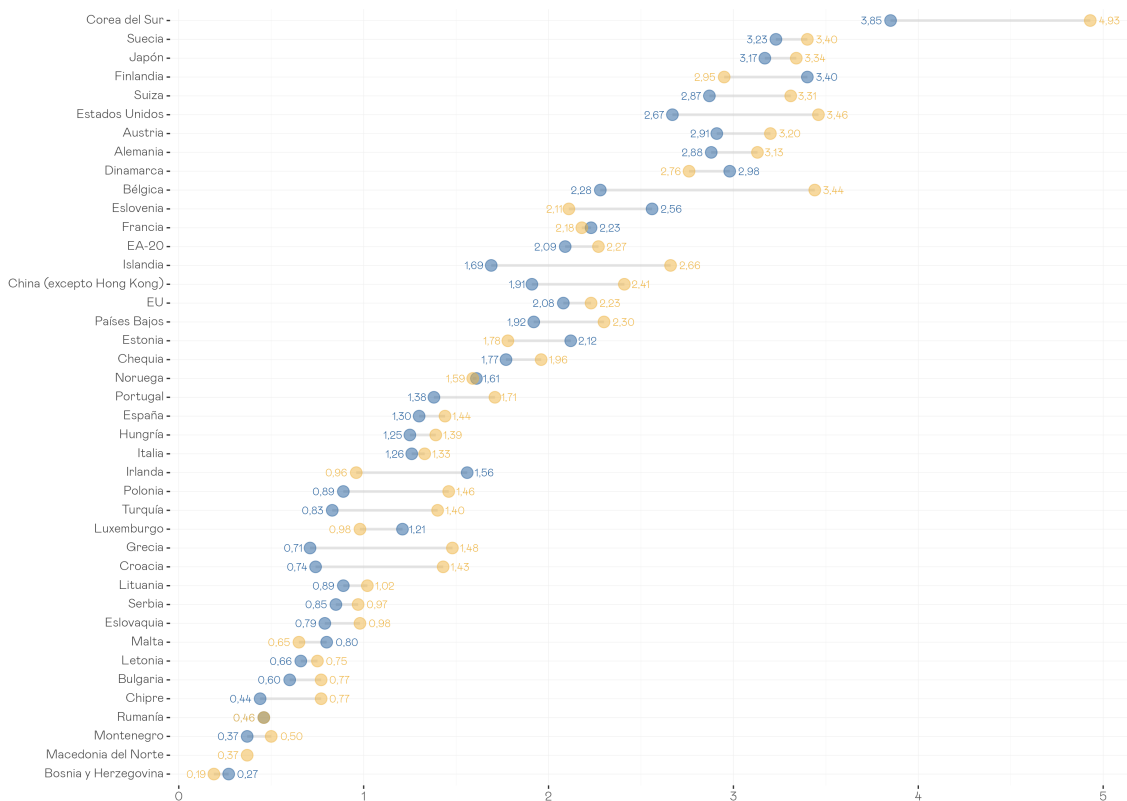
## Inversiones en I+D

Para lograr una transición satisfactoria hacia economías descarbonizadas, es necesario un compromiso a largo plazo de apoyo público y financiación de la I+D ecológica (Lee y Kim, 2021). Este compromiso es crucial para promover el desarrollo y el despliegue de tecnologías esenciales para la transición a fuentes de energía más limpias. En general, una combinación de inversiones públicas y privadas en I+D, con incentivos y marcos de colaboración adecuados, es esencial para impulsar la innovación, la sostenibilidad y el crecimiento económico en el contexto de la descarbonización. Un cambio tecnológico más limpio apoyado por la I+D puede mejorar la productividad del capital y del trabajo, contribuyendo a la sostenibilidad medioambiental y al crecimiento económico (Rubio et al., 2009). Además, se ha demostrado que la inversión en I+D en tecnologías de energías renovables tiene un impacto positivo en la productividad multifactorial (Garcés y Daim, 2012). En general, una combinación estratégica de inversiones públicas y privadas en I+D es crucial para impulsar la innovación, mejorar la productividad y lograr un crecimiento económico sostenible en la transición hacia economías descarbonizadas.

La UE ha aumentado sus inversiones en I+D del 2,08% de su PIB en 2012 al 2,23% una década después. El aumento fue similar en España, del 1,30 al 1,44% de su PIB (Ver Fig. 1).

Figura 1.

% PIB invertido en I+D en 2012 y 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat | EsadeEcPol  
 La mayoría de los valores de 2022 son estimados. Cuando no se dispone de datos de 2022, se elige la última fecha disponible. 2022: Bélgica, Austria, Alemania, Países Bajos, Eslovenia, Francia, Chequia, Estonia, Portugal, Grecia, Polonia, España, Croacia, Hungría, Italia, Lituania, Luxemburgo, Eslovaquia, Irlanda, Bulgaria, Chipre, Letonia, Malta, Noruega, Serbia, 2021: Dinamarca, Suiza, Turquía, Bosnia y Herzegovina, Corea del Sur, EE: Macedonia del Norte; China; 2018: Montenegro. Se utiliza 2013 en lugar de 2012 para Islandia y Montenegro.

Sin embargo, no solo la investigación académica, sino también los responsables de la toma de decisiones han llegado a la conclusión de que la financiación pública no será suficiente para financiar el coste de la transición (CFMCA, 2019; Qadir et al. 2021). Por lo tanto, las inversiones públicas y privadas en I+D serán cruciales para fomentar una transición más limpia y productiva hacia economías descarbonizadas.

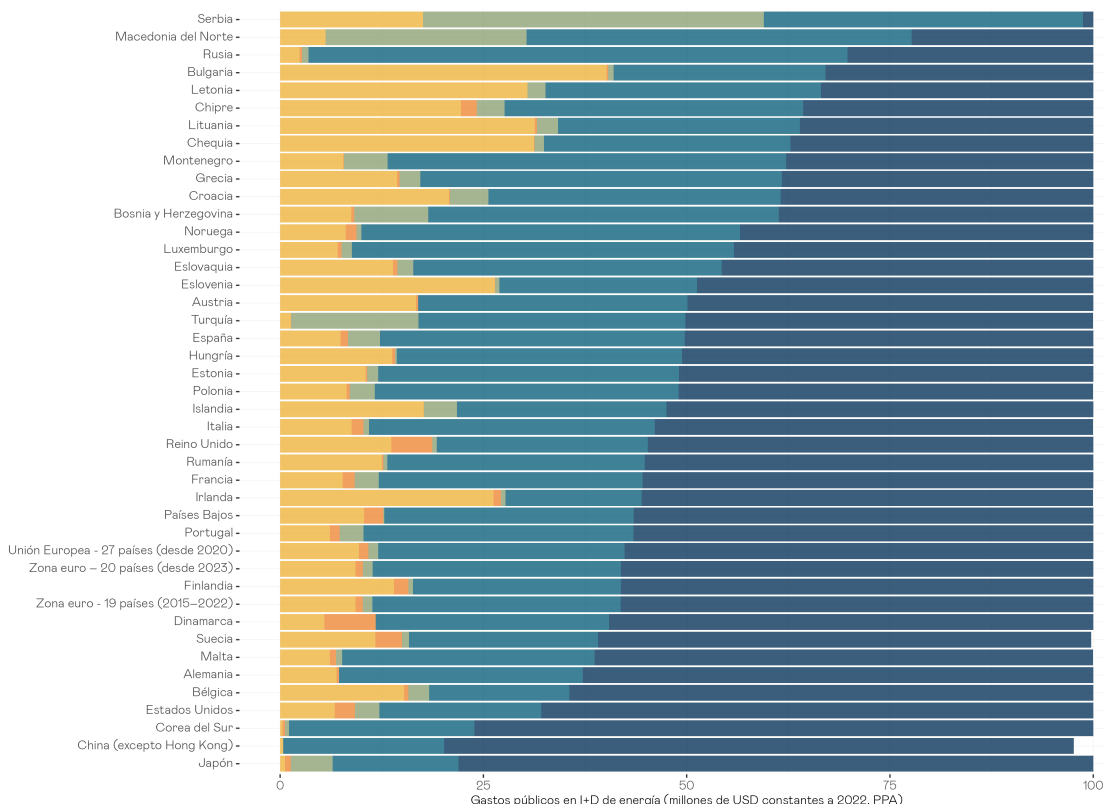
Se sabe que las inversiones públicas en I+D fomentan la innovación tecnológica en el sector privado (Rehman et al., 2020). Estas inversiones pueden estimular el gasto privado adicional en I+D, creando una relación complementaria entre la I+D pública y la privada (Pray y Fuglie, 2015). Los estudios han demostrado que las subvenciones a la I+D pueden estimular eficazmente el gasto privado en I+D, lo que indica una relación positiva entre el apoyo público y las inversiones privadas en I+D (Lach, 2002). Además, la financiación pública de la I+D puede atraer la I+D privada con movilidad internacional, dando lugar a un efecto de "atracción" (Soete et al., 2019). Por otro lado, los gastos privados en I+D son esenciales para el crecimiento económico sostenible (Ravšelj & Aristovnik, 2018). Son vitales para impulsar la innovación, la productividad y la competitividad en diversos sectores (Qiu et al., 2014).

Además, cuando los efectos indirectos de la I+D son significativos, los esfuerzos de colaboración en I+D pueden conducir a una mayor innovación y producción (Alfranca, 2005).

Figura 2.

**Gasto interior bruto en I+D por sector de financiación (% del gasto total en I+D último dato disponible)**

Resto del mundo | Sector privado sin ánimo de lucro | Sector de la enseñanza superior | Sector público | Sector empresarial



Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat | EsadeEcPol  
 Nota: Últimos datos disponibles 2022: Serbia, Chequia, Austria, Turquía, Islandia, Portugal; 2021: Bulgaria, Letonia, Chipre, Lituania, Grecia, Croacia, Bosnia y Herzegovina, Noruega, Luxemburgo, Eslovaquia, Eslovenia, España, H.

Sin embargo, el gasto español en I+D sigue siendo comparativamente bajo y muy inferior al objetivo del 3% fijado por la UE. Esta inversión limitada ha hecho que el ecosistema de innovación del país dependa de la financiación pública, mientras que la participación del sector privado es escasa. Esta estructura limita la capacidad de España para desarrollar una próspera cultura de creación de empresas capaz de comercializar la investigación y ampliarla a escala mundial. El entorno normativo actual también presenta retos. Las startups españolas se enfrentan con frecuencia a complejos procesos administrativos, que ralentizan el crecimiento y llevan a muchas empresas de gran potencial a trasladarse al extranjero. Aproximadamente el 5% de las startups españolas se han trasladado a Estados Unidos u otros mercados (Weik et al., 2024). Sin embargo, España se sitúa en la 7ª posición de Europa por número de start-ups “unicornio” y el ecosistema empieza a destacar en Europa a pesar de una fuerte contracción de la inversión tras la pandemia (World Population Review, s.f.; BBVA Spark, s.f.).

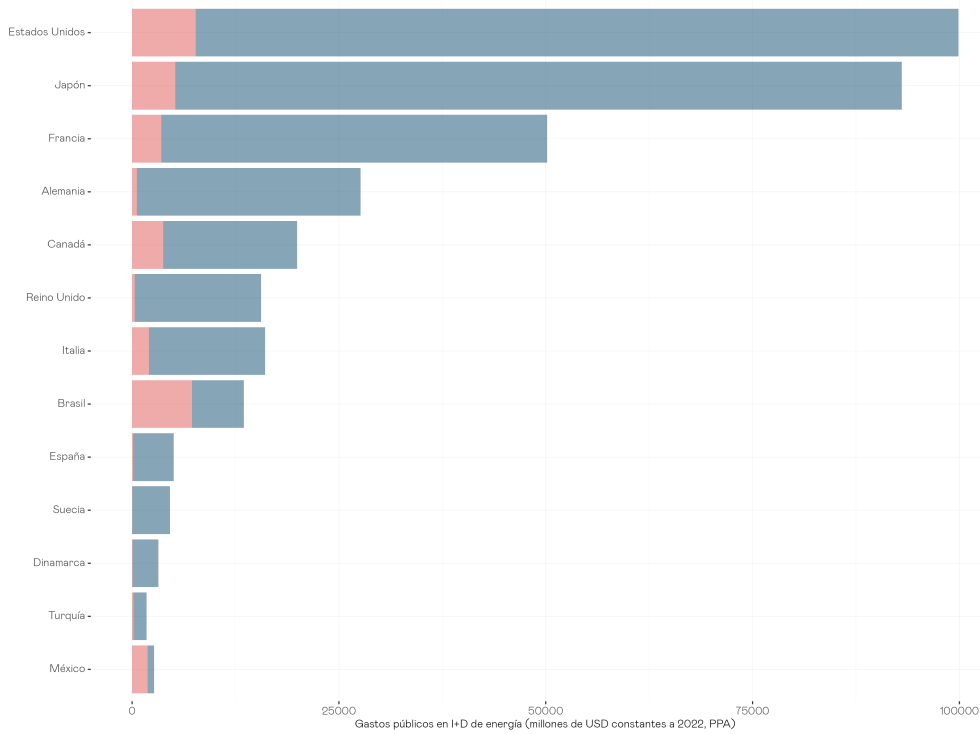
En lo que respecta al gasto en I+D en energía, en España la proporción del gasto en I+D dedicado a las fuentes de energía bajas en carbono supera con creces al de las fuentes no bajas en carbono, lo que proporciona una clara señal de las vías de innovación que veremos en los próximos años (Fig. 3). Aún

así, en comparación con otras grandes economías de Europa, España va a la zaga, reflejando la tendencia de los gastos generales en I+D.

Figura 3. - Figura 4.

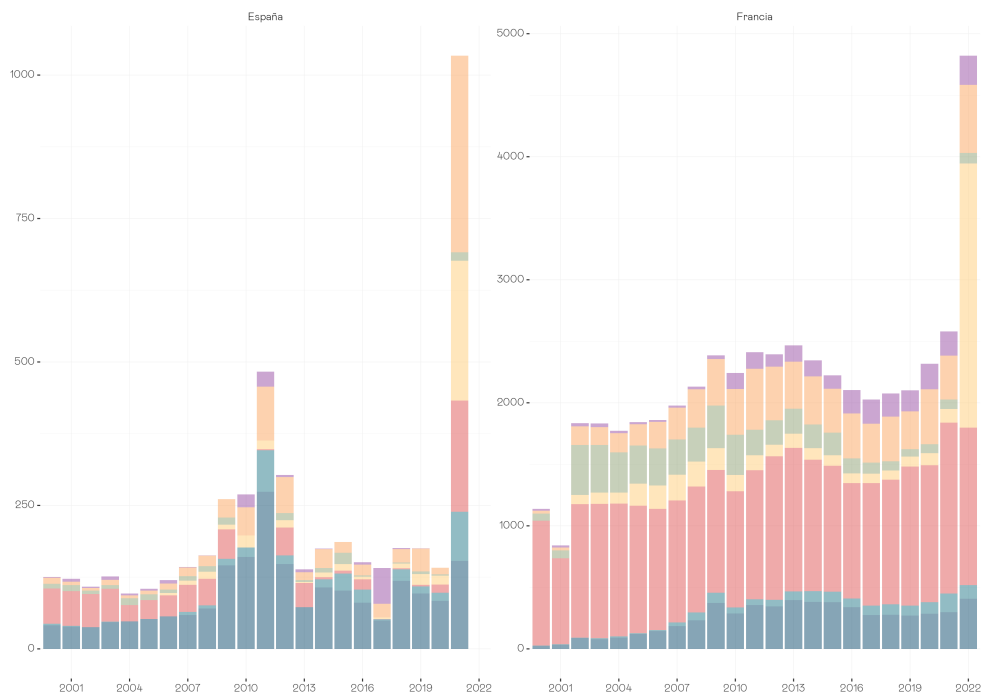
**Gasto público total en I+D+i en energía (ctes MUSD 2022, ppp) por países 2000-2022**

No bajas en carbono | Bajas en carbono



**Gasto público total en I+D+i en energía (ctes MUSD 2022, ppp) por país 2000-2022.**

Renovables | Otras tecnologías de generación y almacenamiento | Nuclear | Hidrógeno | Combustibles fósiles | Eficiencia energética | Tecnologías transversales



Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2023). | EsadeEcPol  
Nota: Los datos de España sólo están disponibles hasta 2021.

Según la Fig. 4, el gasto público en I+D+i en energía en España se mantuvo relativamente modesto hasta alrededor de 2008, cuando comenzó un aumento significativo. Esto coincidió en el tiempo con un marco político favorable a las fuentes de energía renovables iniciado por el Gobierno español. Tras el estallido de la burbuja de la inversión en energía solar fotovoltaica (Del Río y Mir Artigues, 2014), el gasto en I+D+i en España se mantuvo estable hasta 2021, cuando el gasto se multiplicó por siete en comparación con 2020, lo que refleja un aumento de la inversión en diversas tecnologías energéticas, en particular en tecnologías de hidrógeno y eficiencia favorecidas por las inyecciones de NextGenEU. Las energías renovables han recibido sistemáticamente una financiación significativa, lo que indica un fuerte enfoque en soluciones energéticas sostenibles. Sin embargo, en España, sólo 0,55 del PIB se dedicó en 2021 a energía I+D+i. Francia, por el contrario, ha aumentado la proporción de su PIB dedicada a I+D+i en energía durante los dos últimos años, alcanzando en 2022 un 1,3 (AIE, 2023). En países como España, la priorización de las tecnologías energéticas limpias en las políticas nacionales de investigación y desarrollo no es clara, ya que sólo el 1% del presupuesto para I+D+i en tecnologías energéticas se dedica ahora a los combustibles fósiles (AIE, 2021b). En el caso de otros países europeos, la asignación de los gastos de I+D+i en energía parece estar interrelacionada con el cambio de actitud hacia la energía nuclear en países como Dinamarca o Alemania como resultado de debates políticos y/o accidentes nucleares. Sin embargo, países como Francia, con una larga tradición de energía nuclear, han empezado más tarde a reorientar sus gastos en I+D+i hacia las energías renovables (Bonnet et al. 2019).

## Transición ecológica comparativa en los mercados de exportación de bienes y tendencias futuras

La I+D impulsa la innovación en tecnologías con bajas emisiones de carbono, lo que no sólo reduce los costes de la descarbonización, sino que también impulsa la productividad y la competitividad industrial. Por ejemplo, se ha demostrado que las inversiones privadas en I+D en tecnologías con bajas emisiones de carbono aumentan el crecimiento del PIB al mejorar la productividad y ampliar las exportaciones de tecnología, especialmente en los países de la UE con fuertes bases manufactureras con bajas emisiones de carbono, como Alemania, España y Dinamarca (Fragkiadakis, Fragkos y Paroussos, 2020). Además, la innovación ecológica fomenta los efectos indirectos del conocimiento, lo que beneficia a las industrias intensivas en carbono y conduce a un crecimiento económico más amplio, incluso en medio de los ajustes estructurales necesarios para una economía sostenible (Comisión Europea, 2024a). Esta sinergia entre la I+D y la transición ecológica garantiza que las economías no sólo cumplan los objetivos climáticos, sino que también refuercen su ventaja competitiva en los mercados mundiales emergentes (Comisión Europea, 2024b).

En este apartado, nos basamos en indicadores de competitividad futura y, en particular, en un conjunto de indicadores que nos permiten comprender las oportunidades de creación de industria y de competitividad industrial exportadora en un contexto de transición verde en España. En este policy

brief incluimos un análisis comparativo de tres indicadores principales, a saber, un índice de complejidad del producto (ICP) diseñado para medir la sofisticación tecnológica de un producto o una categoría de productos; un índice de proximidad que mide la similitud del producto con las capacidades productivas del país y está correlacionado con la probabilidad de desarrollar competitividad futura en un producto; y, por último, un indicador de Ventaja Comparativa Revelada (VCR) que mide si un país exporta un producto de forma competitiva.

Con estos tres indicadores podemos dibujar las fortalezas competitivas Verdes de España representadas por los productos o, en este caso, categoría de productos verdes que España ya exporta competitivamente ( $RCA > 1$ ), pero también las futuras oportunidades Verdes que representan aquellas categorías de productos verdes que el país aún no exporta competitivamente ( $RCA < 1$ ), pero que podrían desarrollar competitividad por la proximidad con productos y categorías en los que España muestra ventaja.

En concreto, nos centramos en 19 categorías verdes homogeneizadas en el Navegador de la Transición Verde (Andres y Mealy, 2023):

- Control de la contaminación atmosférica
- Limpieza o saneamiento del suelo y el agua
- Tecnologías y productos más limpios o eficientes en el uso de los recursos
- Tecnologías de consumo eficiente de energía y captura y almacenamiento de carbono
- Eficiencia energética
- Equipos de vigilancia, análisis y evaluación medioambientales
- Productos ambientalmente preferibles en función de sus características de uso final o eliminación
- Reducción de las emisiones de la quema de gas
- Gestión del calor y la energía
- Gestión de residuos sólidos y peligrosos y sistemas de reciclaje
- Protección de los recursos naturales
- Gestión de riesgos naturales
- Reducción del ruido y las vibraciones
- Otros
- Energías renovables
- Gestión de recursos y contaminación
- Gestión, reciclado y remediación de residuos
- Gestión de aguas residuales y tratamiento de agua potable
- Suministro de agua

Esta perspectiva subraya la importancia del lado de la oferta. Aunque el discurso actual suele destacar la dinámica del lado de la demanda, la perspectiva de la oferta sigue siendo importante para la

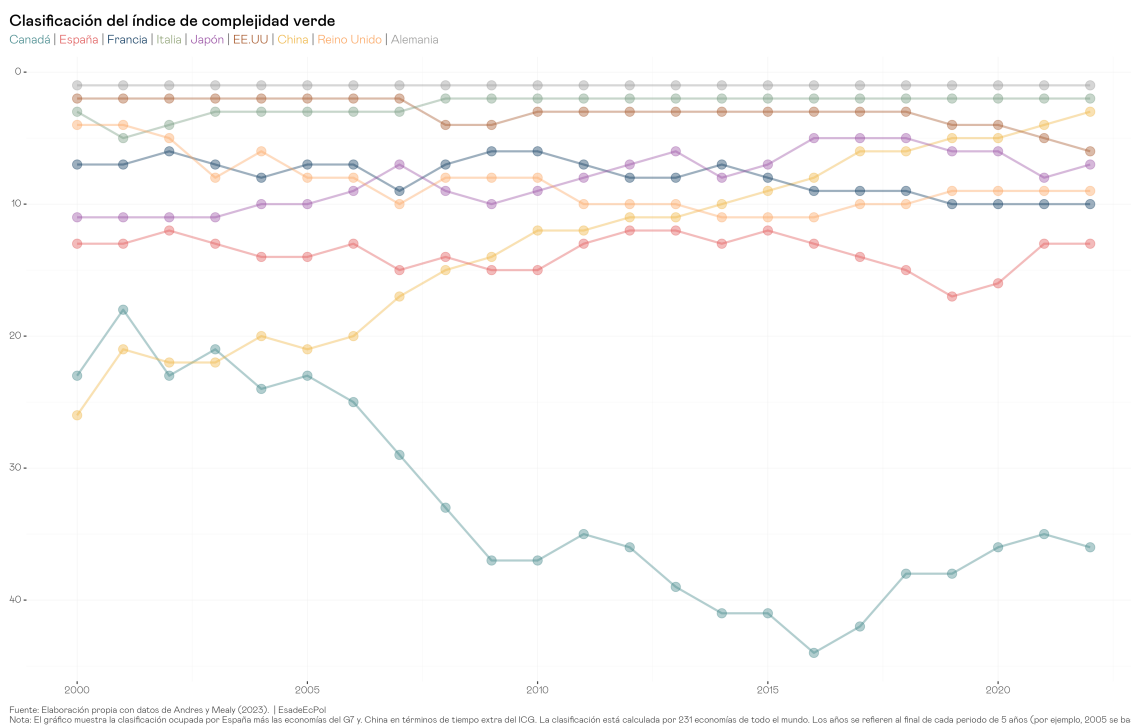
transición ecológica. Garantiza que las economías posean la infraestructura tecnológica y productiva necesaria para responder eficazmente a la creciente demanda de soluciones sostenibles. Sin una inversión adecuada en la capacidad del lado de la oferta, los cambios en la demanda pueden provocar limitaciones en la oferta, un aumento de los precios o una dependencia excesiva de fuentes externas (Semieniuk y Mazzucato, 2019). Sin embargo, en el contexto de la fragmentación del comercio, las exportaciones por sí solas no solucionarán todos los problemas y es esencial reforzar las inversiones nacionales o las cadenas de suministro (Terzi, 2022). Herramientas como el Navegador de la Transición Verde, que utiliza un enfoque basado en la complejidad, pueden ayudar a trazar las capacidades tecnológicas esenciales para el progreso verde.

### 3.1. Índice de complejidad ecológica y análisis de las exportaciones ecológicas

El Índice de Complejidad Verde (ICV) es una medida que combina la capacidad de un país para producir productos verdes tecnológicamente sofisticados con su capacidad general para exportar estos bienes de forma competitiva (véase Mealy y Teytelboym, 2022 para una descripción del cálculo del índice). Comparando el ICV de España con el de los países del G7 más China, podemos extraer conclusiones sobre la posición de los españoles en el mercado de la tecnología verde y sus contribuciones a los esfuerzos globales de sostenibilidad en comparación con las principales economías del mundo. España ha demostrado un crecimiento considerable en sectores como las energías renovables, sobre todo en energía solar y eólica. Esto se ha visto reforzado por políticas gubernamentales de apoyo y un clima favorable para la producción de energía solar. Aunque el ICG de España puede reflejar retos como la inestabilidad económica y unos sectores industriales menos diversificados en comparación con otras economías europeas líderes, como Italia, Alemania o Francia (véase la Fig. 5), el enfoque del país en las energías renovables podría aumentar su complejidad verde con el tiempo, especialmente a medida que crece la demanda mundial de tecnologías renovables. A diferencia de España, Francia cuenta tradicionalmente con una sólida base industrial e importantes inversiones en tecnología e investigación, lo que contribuye positivamente a su ICV. Francia ha sido, además, líder en tecnología nuclear, que se considera una fuente de energía con bajas emisiones de carbono, aunque las credenciales ecológicas de la energía nuclear pueden ser objeto de debate (Ferguson et al. 2010; CAN, 2024). Además, Francia ha ido aumentando sus capacidades en otras energías renovables y tecnologías sostenibles. El compromiso del gobierno francés con la reducción de las emisiones de carbono y la transición a una economía más verde también apoya el desarrollo de tecnologías verdes complejas (AIE, 2021a). Teniendo en cuenta que Alemania es el bastión de la innovación verde y el motor de la transición hacia economías con bajas emisiones de carbono en Europa, la añadimos aquí a título comparativo. Alemania suele considerarse líder tanto en la complejidad de sus industrias como en su compromiso con las tecnologías verdes. Ocupa un lugar destacado en los índices mundiales de innovación, incluidas las tecnologías verdes, como los equipos de energías renovables, las tecnologías de eficiencia energética y las tecnologías de automoción sostenibles (como los vehículos eléctricos). El sólido sector de la ingeniería de Alemania, sus cuantiosas inversiones en investigación y desarrollo y sus sólidas políticas gubernamentales de apoyo a la sostenibilidad contribuyen a su elevado ICG y, por tanto, a que sea la primera economía en la

clasificación del ICG. A diferencia de Francia, que ha perdido algunas posiciones en esta clasificación, y de forma similar a Italia, la tendencia de España parece positiva y ha ganado un par de puestos en la clasificación, lo que demuestra los puntos fuertes y las oportunidades en la transición hacia la descarbonización de las economías (Fig. 5).

Figura 5.



Si nos fijamos más concretamente en las cifras que sustentan el ICV (véanse las Fig. 6 y 7) y la clasificación mencionada, es decir, la cuota de cada país en las exportaciones mundiales de productos ecológicos, los datos indican una tendencia a la baja en la cuota de las exportaciones de productos ecológicos de Francia, que pasa del 4,71% al 2,56% entre 2000 y 2022. También se observa una tendencia a la baja en Alemania (del 13,55% en 2000 al 12,73% en 2022) e Italia (del 5,9% en 2000 al 3,74% en 2022). El sector de las energías renovables registra un descenso similar en Francia (del 3,95% al 2,24%) y en Italia (del 4,51% al 2,74%). Alemania, sin embargo, ha aumentado su influencia en relación con las exportaciones de energías renovables, pasando del 11,10% en 2000 al 12,38% en 2022. Aunque ligeramente por debajo de Francia e Italia, España muestra un tímido aumento en la exportación de productos verdes, del 1,58% al 1,64%, y un aumento más significativo en las exportaciones de energías renovables, del 1,11% al 1,75%, siendo el único país del análisis (G7, China y España) además de Alemania y China que aumenta (aunque ligeramente) su influencia en las exportaciones de productos verdes. Aún así España parece lejos de Alemania, que mantiene un porcentaje relativamente estable de productos verdes en sus exportaciones y muestra estabilidad en sus exportaciones verdes, lo que puede reflejar su fuerte base industrial y su enfoque en sectores manufactureros de alto valor, incluyendo la tecnología de energías renovables (Ver Fig. 6 y 7). La línea de tendencia ascendente de España representaría su crecimiento en exportaciones verdes. La literatura académica sugiere que los cambios estructurales en las economías y los cambios en la

demanda mundial de ciertos productos pueden influir en tales tendencias (Fankhauser & Jotzo, 2018). España muestra una tendencia positiva, que puede reflejar intervenciones políticas exitosas dirigidas a promover las energías renovables y las tecnologías verdes (Rodríguez-Pose & Wilkie, 2017). Sin embargo, el sistema energético español, aunque rico en recursos renovables, sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles importados, especialmente del gas natural. Esta dependencia, unida a las limitaciones de las infraestructuras, deja a España expuesta a las fluctuaciones de los mercados energéticos mundiales. Además, España ha experimentado una creciente dependencia de la tecnología digital importada, que creció un 15% en los últimos cinco años, lo que expone a las industrias que dependen de la transformación digital a posibles interrupciones de la cadena de suministro.

Figura 6.

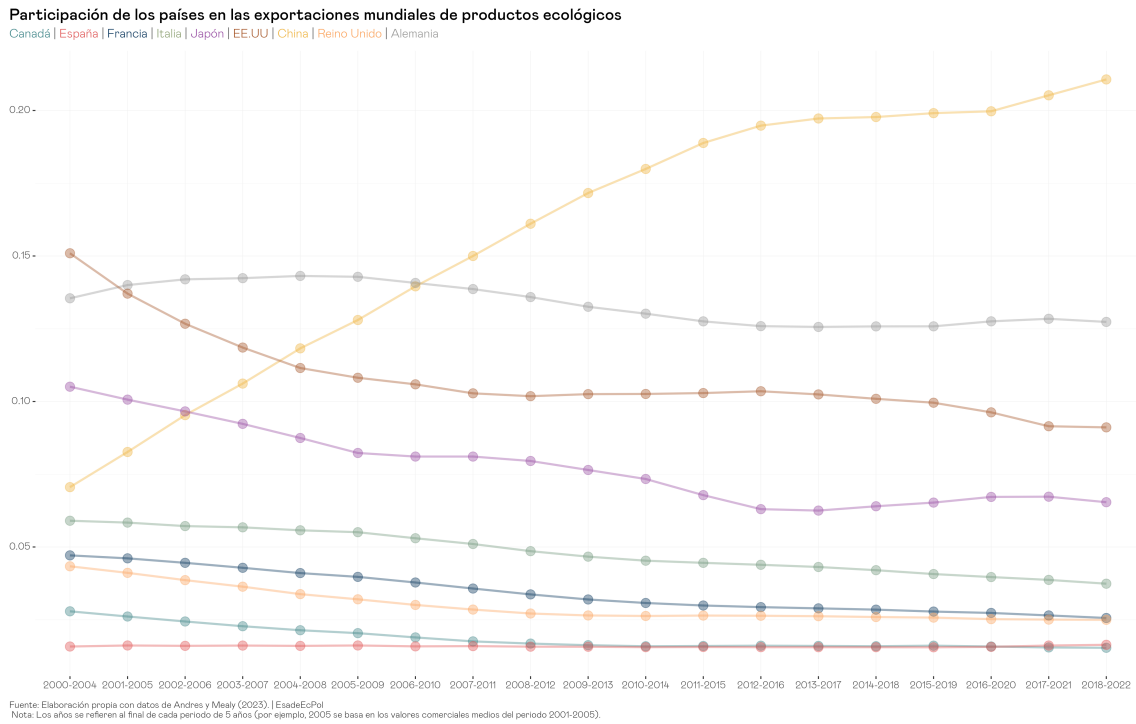
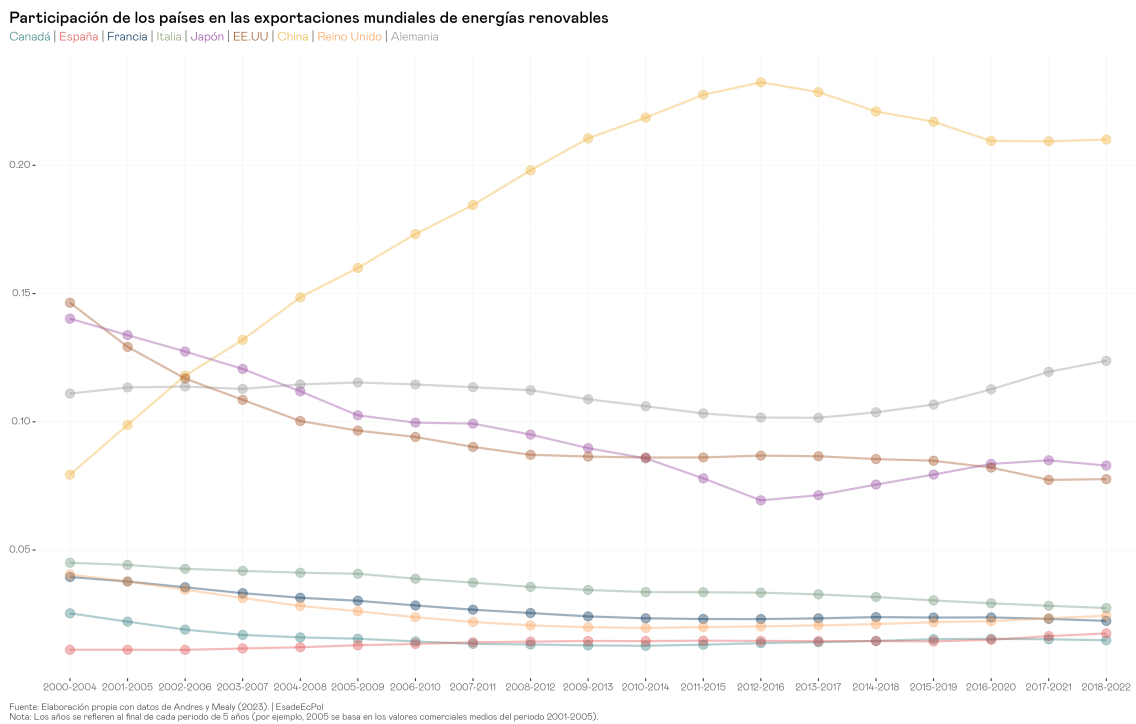


Figura 7.

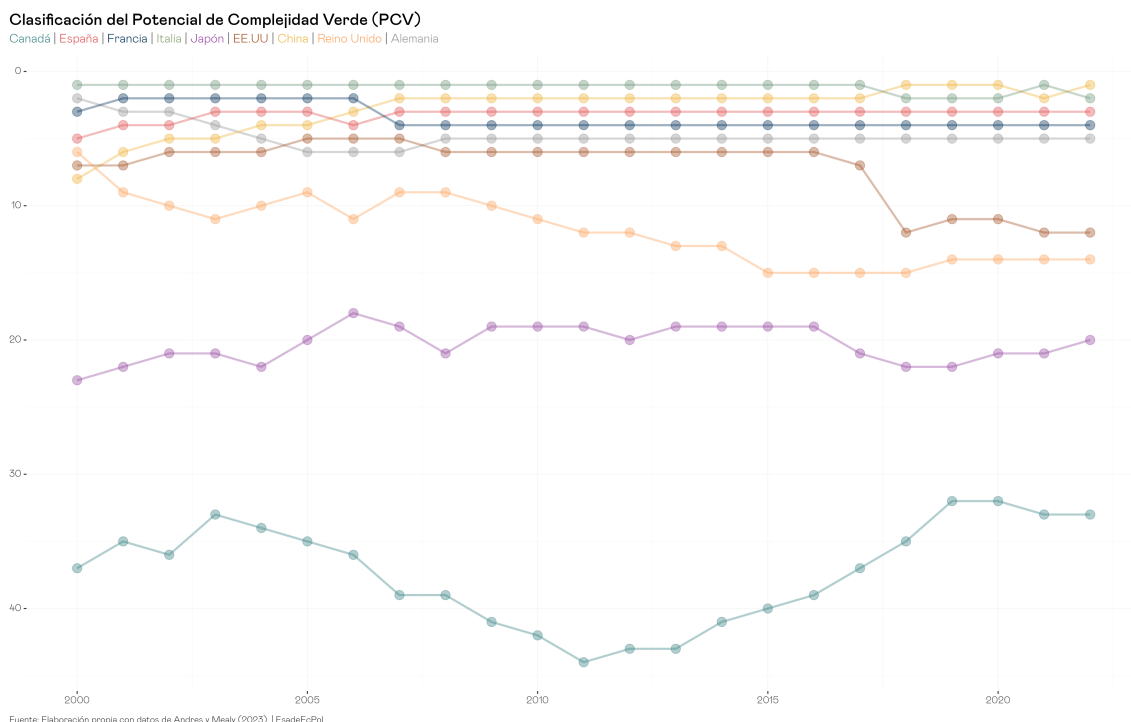


## Ventaja comparativa relativa y perspectivas de los riesgos de transición

Andres et al. (2023) crearon una medida de la dependencia de un país de las exportaciones de productos de baja complejidad y marrones denominada Índice de dependencia de productos marrones (BLI, por sus siglas en inglés). En pocas palabras, el BLI mide la proporción de exportaciones marrones en el volumen de exportación de un país, ponderado por la inversa de un índice de complejidad del producto (ICP) que representa la sofisticación tecnológica de un producto; de tal forma que los productos menos sofisticados tecnológicamente (que tienden a asociarse con menores ingresos y crecimiento en comparación con los más complejos, y abren menos vías de diversificación) tienen un peso mayor. A continuación analizamos el Potencial de Complejidad Verde, es decir, el potencial de un país para diversificarse en productos verdes y complejos en el futuro basándose en sus actuales puntos fuertes competitivos; y el Índice de Enclavamiento Marrón, es decir, que aproxima el riesgo de transición de un país, basándose en la proporción de productos marrones de baja complejidad en su cesta de exportación; para evaluar con precisión el posicionamiento medioambiental de cada país en términos de menores riesgos de transición. Para facilitar el análisis, nos centramos aquí en la clasificación de España y los países de su entorno para estos dos indicadores entre un conjunto de más de 200 países.

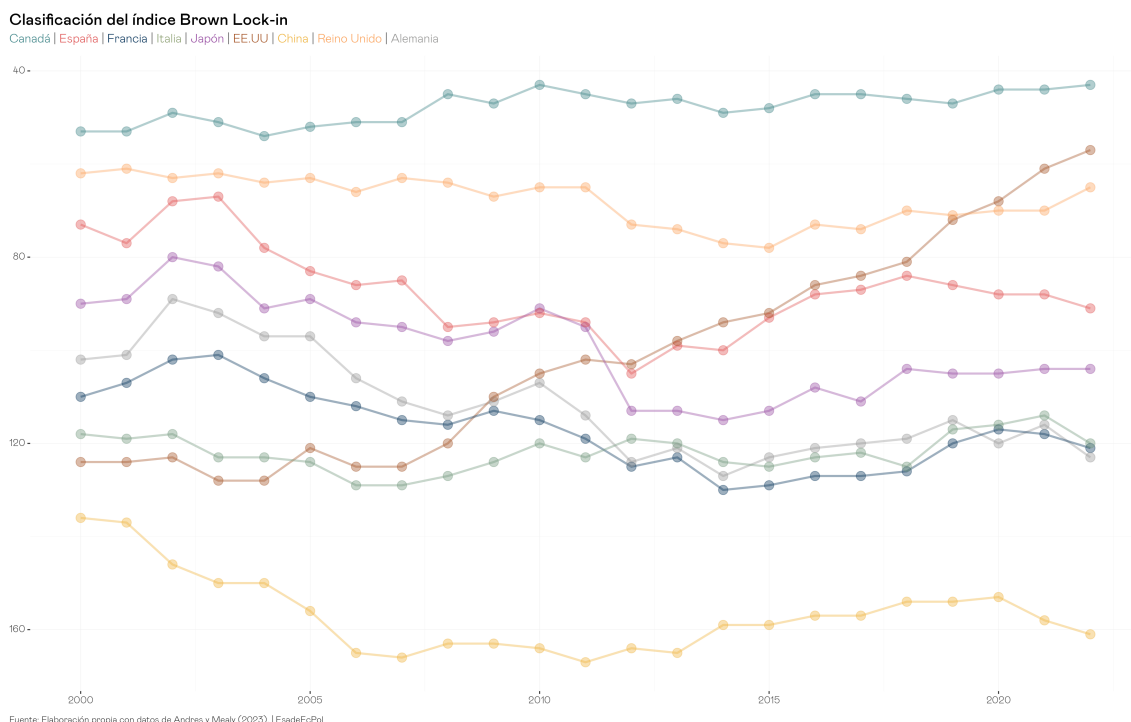
En cuanto a su Potencial de Complejidad Verde (PCV), Francia muestra una posición relativamente estable con pequeñas fluctuaciones, oscilando en la clasificación entre el puesto 3 en 2000 y el 4 en los últimos años (2006-2022). Esta estabilidad indica que Francia ha mantenido una capacidad constante de innovación y diversificación en tecnologías verdes, lo que mantiene al país como uno de los de mayor potencial en todo el mundo para tener éxito en la transición hacia economías más verdes. Ocupando el cuarto lugar del mundo en términos de BPC, Francia dispone de capacidades productivas que le permiten diversificarse más fácilmente en una amplia gama de productos ecológicos y complejos (véase Andres y Mealy, 2021 y el análisis más abajo). Mientras que Alemania se sitúa a la cabeza de los productos verdes complejos según su ICG, su PCG comienza en 2, aumenta a 6 hacia mediados de la década de 2000 y luego se estabiliza en 5. Esto sugiere una mejora sustancial del potencial de Alemania para desarrollar y expandirse en productos verdes complejos, lo que refleja un fuerte apoyo político e industrial a los sectores de tecnología verde. Aunque España parecía ligeramente rezagada con respecto a su situación actual en materia de exportaciones ecológicas, el país muestra una trayectoria positiva en el BPC desde un punto de partida más bajo de 6 en 1999 hasta estabilizarse en 3 en los últimos años. Esta mejora refleja una creciente capacidad para dedicarse a industrias verdes más complejas, aunque partiera de una posición más débil en comparación con Francia y Alemania. Con todo, el líder en este sentido es Italia, que ocupa desde 2000 la primera y segunda posición de la clasificación (Fig. 8).

Figura 8.



Por lo que respecta al análisis del índice de bloqueo marrón, que puede utilizarse como indicador indirecto del riesgo de transición del país, basado en la proporción de productos marrones de baja complejidad en su cesta de exportación, España se enfrenta actualmente a un riesgo de transición más elevado que cualquiera de los países de la UE del G7, es decir, Francia, Italia y Alemania, ya que su proporción de exportaciones marrones sigue siendo significativa (véase el cuadro 1). Sin embargo, el país sigue una tendencia positiva. Partiendo de una clasificación BLI inferior de 73 en 2000 y llegando a 91 en 2022, España muestra una mejora significativa, aunque sigue por detrás de Alemania, Francia e Italia como representantes de la UE en el G7. Esta progresión indica un esfuerzo dedicado a la mejora de las prácticas medioambientales y a la reducción de los riesgos de transición, aunque a un ritmo más lento. Francia muestra un ligero aumento a lo largo del tiempo, pasando de 110 en 2000 a 121 en 2022. Este crecimiento sugiere que Francia está mejorando gradualmente su posicionamiento medioambiental al reducir la dependencia de productos de baja complejidad y perjudiciales para el medio ambiente. En general, Francia muestra estabilidad, lo que sugiere capacidades maduras, mientras que España demuestra un notable potencial de crecimiento. Italia y Alemania se mantienen estables (Fig. 9).

Figura 9.



La siguiente tabla (Tabla 1) es una adaptación de una más amplia de Andres et al. (2023) que muestra el índice de complejidad marrón, como medida de la dependencia de un país de las actividades marrones que, en el contexto de la transición hacia economías bajas en carbono, ofrecerán menos oportunidades económicas y de competitividad; y algunas variables adicionales importantes en relación con la competitividad en un contexto de transición verde para las economías del G7 más China y España. Andres et al. (2023) desarrollaron este índice que contabiliza el número de exportaciones marrones competitivas, ponderadas por la complejidad de cada producto. Cabría esperar que, aunque se trate de tecnologías marrones, los países con capacidades de exportación más sofisticadas puedan adaptarse más fácilmente a un sistema de producción más ecológico. El ICB se correlaciona positivamente con el ICG, lo que demuestra que los países que exportan productos competitivamente complejos, aunque estén clasificados como “marrones”, también tienden a tener grandes capacidades para exportar otros productos ecológicos complejos.

Francia presenta un Índice de Enclavamiento Marrón (BLI) relativamente moderado, lo que sugiere un nivel moderado de dependencia de las industrias marrones. Sin embargo, sus perspectivas de transición son algo prometedoras y superiores a las de España debido a su base industrial establecida y a sus capacidades tecnológicas. Las cifras del BPC de Francia indican estabilidad con pequeñas fluctuaciones, lo que implica una capacidad constante para innovar y diversificar en tecnologías verdes. Por otro lado, España muestra un BLI más alto inicialmente, pero su trayectoria sugiere que España está mejorando activamente sus capacidades e infraestructuras para apoyar productos verdes más complejos, mejorando su posición competitiva en las industrias verdes.

Tabla 1. Indicadores de la economía marrón en países seleccionados

País	ICB	Exportaciones marrones (1M USD)	Cuota de exportación marrón (%)	PIB per cápita 2023 (USD)(*)	Perspectivas de transición(*) 2022	Perspectivas de la Transición Verde (*) 2022
EE.UU.	4,93	2462,74	17,11	81.695	-0,55	-0,14
Japón	4,27	1257,50	18,67	34.017	-0,13	0,35
Alemania	3,95	1824,49	13,21	52.746	0,14	0,64
Francia	3,24	468,56	8,99	44.461	0,36	0,75
Reino Unido	3,03	802,01	19,29	48.867	0,03	0,72
España	2,39	534,73	17,27	32.677	0,21	-0,04
Italia	2,22	434,85	8,74	38.373	0,95	0,94
China	1,91	652,10	2,60	12.614	0,9	-0,49
Canadá	1,62	1269,66	31,52	53.372	-0,56	0,1

Fuente: Reproducido y actualizado (\*) de Andres et al. 2023. Las actualizaciones del PIB per cápita para 2023 se han extraído de Macrotrends. Nota: El ICB constituye una contrapartida directa del ICG y mide el número y la complejidad de los productos marrones en los que un país es competitivo. Las capacidades de exportación en actividades tecnológicamente más sofisticadas pueden tardar más en desarrollarse y reportar mayores beneficios a la economía. Sin embargo, al abrir un mayor número de vías de diversificación, es probable que se asocien a vías de transición más fáciles. Tanto las perspectivas de transición como las perspectivas de transición verde son índices estandarizados con una media de 0 y una desviación estándar de 1. Las perspectivas de transición miden la proximidad de los productos marrones de la cesta de exportación de un país a las exportaciones compatibles con el clima, mientras que las perspectivas de transición verde miden la proximidad de los productos marrones de la cesta de exportación de un país a las exportaciones verdes.

El primer análisis lleva a considerar cuáles son las ventajas competitivas reveladas (VCR) de España en el proceso de transición hacia economías más verdes para diversos sectores. Este ejercicio es útil porque permite mostrar las categorías ecológicas específicas en las que un país es competitivo actualmente, así como las oportunidades industriales ecológicas potenciales. Este análisis es especialmente relevante para los responsables políticos que tratan de decidir sus opciones tecnológicas (Anadon et al. 2022) en contextos de elevada deuda pública y posibles restricciones presupuestarias.

A continuación trazamos un mapa de las ventajas y oportunidades competitivas verdes actuales para España. La Fig. 10 muestra la relación entre un indicador de RCA que indica si un país exporta un producto de forma competitiva y un Índice de Complejidad del Producto que muestra el nivel de sofisticación de un determinado producto (o categoría de productos). El país muestra una competitividad excepcional en productos de reducción de ruido y vibraciones (RCA 2,38, PCI 0,67) y tecnologías más limpias o eficientes en el uso de los recursos (RCA 2,24, PCI 0,55). Estos elevados RCA sugieren que España ha desarrollado y comercializado con éxito tecnologías en estas áreas, superando la media mundial. Sin embargo, países como Alemania y Japón han marcado la pauta con procesos de fabricación avanzados que reducen significativamente el consumo de recursos (Mealy & Teytelboym, 2020). La Protección de los Recursos Naturales (RCA 1,92, PCI -1,01), a pesar de un PCI negativo, indica una alta especialización en este sector, pero también destaca un área potencial para el avance tecnológico. Sin embargo, el nivel de sofisticación del sector es bajo y, por tanto, la

contribución al crecimiento económico ecológico es potencialmente reducida (Hidalgo y Hausmann, 2009).

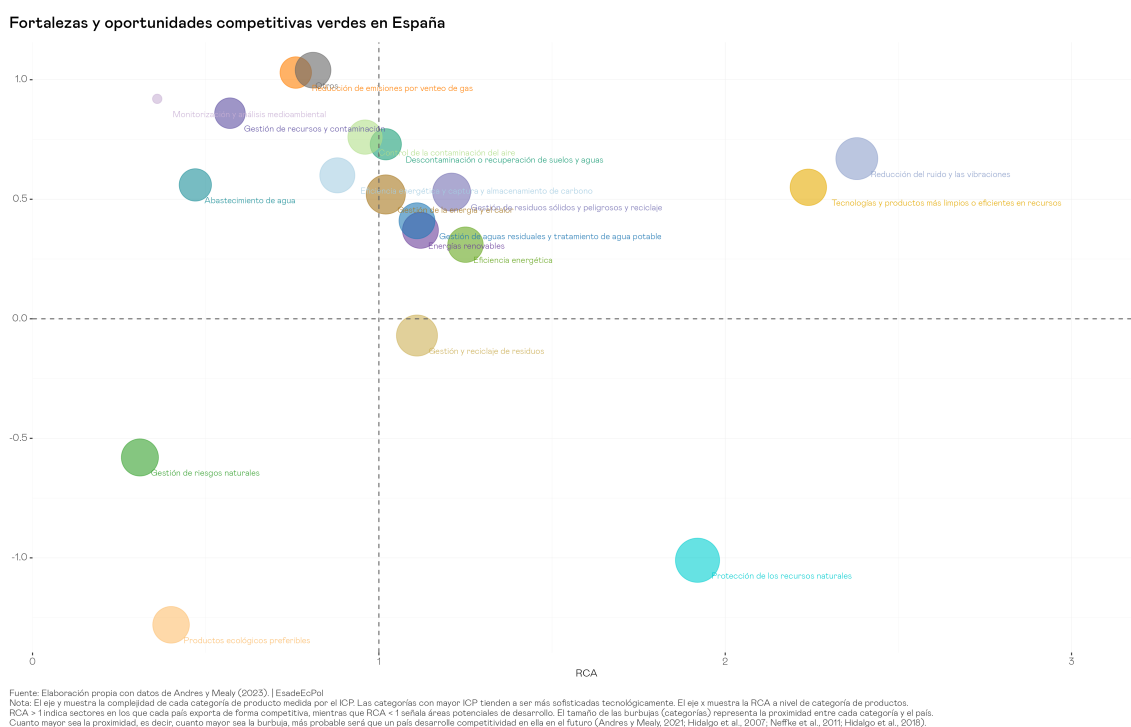
El país ya es competitivo en Energías Renovables (RCA 1,12, PCI 0,37). Sin embargo, España aún tiene margen para mejorar sus capacidades tecnológicas con el fin de mejorar su competitividad global. España posee un importante potencial de energías renovables, especialmente en energía solar y eólica, que acaba de aportar casi el 60% de la generación eléctrica del país en el primer semestre de 2024. Esta capacidad renovable da a España una ventaja competitiva en la producción de energía limpia, posicionándola como líder potencial de la UE en este sector. Sin embargo, los elevados costes de la energía para la industria —impulsados por incoherencias normativas y cuellos de botella en las infraestructuras— han impedido que España aproveche plenamente este potencial. A pesar de sus activos en energías renovables, España sigue dependiendo en gran medida de la importación de combustibles fósiles, especialmente gas natural. Más del 70% del suministro de gas de España procedía de mercados exteriores en 2023, lo que expone al país a la volatilidad de los precios y a los riesgos de la cadena de suministro. Los precios industriales de la electricidad son, por término medio, un 20% más altos que la media de la UE, lo que dificulta la competitividad, en particular para los sectores que hacen un uso intensivo de la energía, como el manufacturero (Draghi, 2024). Para España, pero también para otros países europeos como Francia, será esencial ampliar las infraestructuras de energías renovables y reducir los costes energéticos para la industria. Las inversiones en la modernización de la red y las interconexiones transfronterizas podrían permitir a España explotar mejor sus recursos renovables, mientras que la capacidad nuclear de Francia podría aprovecharse para proporcionar estabilidad a la red a medida que aumenten las energías renovables. Al abogar por un enfoque a escala de la UE de la adquisición de energía y la integración del mercado, España y Francia podrían reducir la volatilidad de los precios, disminuir los costes y construir un marco energético más resistente.

Sin embargo, no es solo en la producción de energías limpias, sino también en la fabricación de tecnologías limpias, en particular de turbinas eólicas, donde España se sitúa a la cabeza de Europa, solo por detrás de Alemania en 2020. Sin embargo, la facturación de las empresas españolas del sector eólico cayó de 2020 a 2021 de casi 6.000 M€ a apenas unos 3.000 M€ (Tapoglou et al., 2023). El descenso de la facturación del sector eólico español puede atribuirse a una combinación de retos regulatorios, financieros y de infraestructuras. En particular, el sector eólico español se enfrentó a un aumento de los retrasos en la concesión de permisos y en la conexión a la red, una situación agravada por las evaluaciones de impacto administrativo y medioambiental necesarias para los nuevos proyectos. Además, el aumento de los costes de los componentes y materiales esenciales para la infraestructura eólica afectó a la estabilidad financiera del sector y al atractivo de las inversiones. Por otra parte, la elevada dependencia de España de las importaciones de materiales específicos críticos para la tecnología eólica creó vulnerabilidades en medio de las interrupciones de la cadena de suministro mundial durante la pandemia de COVID (Draghi, 2024).

Hay un claro margen para aumentar la competitividad en tecnologías de limpieza o remediación de suelos y aguas (RCA 1,02, PCI 0,73), gestión de calor y energía (RCA 1,02, PCI 0,52) y a punto de ser competitivos en tecnologías de consumo eficiente de energía (RCA 0,88, PCI 0,6). En materia de

limpieza y remediación de suelos y aguas, España cuenta con crecientes iniciativas orientadas a la restauración ecológica, pero está por detrás de la experiencia y el liderazgo tecnológico demostrados por Alemania y Estados Unidos, ambos con un fuerte legado de innovación en estos campos (OCDE, 2020). Existe un claro espacio para que España trabaje en aquellas categorías en las que el país se encuentra rezagado, por ejemplo, Contaminación atmosférica (RCA 0,96, PCI 0,76), Consumo eficiente de energía y CCS (RCA 0,88, PCI 0,6) o Productos para la reducción de las emisiones de la quema de gas (RCA 0,76, PCI 0,86); pero que están cerca de generar una ventaja competitiva verde altamente sofisticada (Ver Fig. 10 y Tabla A1 en el apéndice). En tecnologías de control de la contaminación atmosférica, España tiene capacidades moderadas, centradas principalmente en los centros urbanos nacionales. Alemania y Japón lideran este sector, exportando tecnologías avanzadas que han establecido puntos de referencia a nivel mundial. Del mismo modo, Estados Unidos y China cuentan con importantes capacidades de producción, y China está ampliando rápidamente su cuota de mercado gracias a políticas industriales de apoyo (AIE, 2021). Los esfuerzos de España en eficiencia energética y tecnologías de captura de carbono reflejan un progreso continuo, pero sigue por detrás de Estados Unidos y China, que han priorizado las inversiones a gran escala en captura y despliegue de carbono (Andres & Mealy, 2023).

Figura 10.



## Debate e implicaciones políticas

La estrategia de transición verde de España destaca notables avances en el despliegue de energías renovables, eficiencia energética y gestión de residuos. España ha aprovechado sus ventajas geográficas para ampliar significativamente las capacidades solar y eólica, lo que ha dado lugar no sólo

a una notable disminución de las emisiones, especialmente tras la crisis económica, sino también a una importante capacidad instalada de energía renovable que ha permitido al país convertirse en líder en energía eólica y solar, con las energías renovables contribuyendo a casi el 60% de su generación de electricidad a partir de 2024. Este logro subraya el sólido marco político nacional de España y su alineación con los objetivos climáticos de la Unión Europea. España, aunque tiene menos patentes que otros países, muestra un potencial de crecimiento, especialmente en tecnologías de energías renovables, respaldado por la mejora de las inversiones en I+D y el apoyo a las políticas.

Sin embargo, España se ha centrado principalmente en el despliegue nacional de energías renovables, lo que limita su potencial para competir internacionalmente con los principales exportadores, como Alemania y China, que dominan los mercados mundiales de turbinas eólicas y paneles solares. La iniciativa Energiewende de Alemania ejemplifica un enfoque global para integrar las energías renovables, combinando la modernización de la red con soluciones innovadoras de almacenamiento de energía (OCDE, 2020), mientras que el modelo estatal de China le ha permitido aumentar la producción y captar una cuota de mercado mundial significativa (Andres & Mealy, 2023). España muestra un amplio compromiso en múltiples sectores, pero carece de la profundidad y el liderazgo tecnológico de Alemania, Francia y Japón. En general, aunque la estrategia de España refleja un sólido compromiso con la sostenibilidad, su limitada diversificación y capacidad de exportación en tecnologías verdes avanzadas plantea importantes retos para mantener la competitividad en la escena mundial.

De hecho, España se enfrenta al reto de alinear mejor sus capacidades industriales con los objetivos de crecimiento verde para impulsar un crecimiento económico y una creación de empleo significativos. Es aquí donde resulta esencial la adopción de un mapa de coordinación de las políticas de innovación, medio ambiente e industria. Un enfoque holístico de este tipo no sólo mejora la sinergia de las políticas, sino que también optimiza la asignación de recursos y apoya los esfuerzos nacionales integrales hacia los objetivos de sostenibilidad. Una estrategia integrada que alinee las políticas de innovación, medioambiental e industrial garantiza que las iniciativas en un área refuercen los objetivos en otras, aumentando la eficacia general de los esfuerzos dirigidos a lograr la descarbonización (Rissman et al., 2020). Por ejemplo, las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) pueden orientarse más eficazmente hacia tecnologías con bajas emisiones de carbono y procesos energéticamente eficientes cuando las políticas están sincronizadas en todos los sectores (Kivimaa y Kern, 2016). Esta alineación ayuda a evitar los escollos de normativas y objetivos contradictorios, mejorando la coherencia y claridad de los objetivos nacionales de sostenibilidad (Rogge y Reichardt, 2016).

Además, un marco político coordinado facilita una difusión más rápida de las tecnologías innovadoras en todas las industrias. Al reducir las trabas burocráticas y agilizar los procesos normativos, las industrias pueden adoptar nuevas tecnologías con mayor rapidez, apoyadas por incentivos gubernamentales que están en consonancia con objetivos medioambientales más amplios (Johnstone et al., 2010). Este enfoque no solo estimula el crecimiento económico, sino que también garantiza que los avances tecnológicos contribuyan directamente a reducir el impacto medioambiental. Autores como Cherif y Hasanov (2019) sostienen, por ejemplo, que un factor clave del éxito económico es una política industrial orientada a la exportación en contraste con la sustitución de importaciones. Estos autores afirman que la exportación fomenta la competencia, las economías de escala, la innovación y la

integración local y proporciona señales de mercado a los responsables políticos. Por lo tanto, centrarse en una política industrial que exporte aquellos productos ecológicos (política medioambiental) tecnológicamente sofisticados (política de innovación) en los que un determinado país tiene o puede generar una ventaja competitiva (política industrial) puede ser el camino para una transición eficaz hacia economías descarbonizadas.

Las ventajas económicas e industriales de un enfoque coordinado son significativas. Los países que integran eficazmente sus políticas pueden obtener una ventaja competitiva en el mercado mundial emergente de las tecnologías verdes, atrayendo inversiones y creando empleos de alto valor (Fankhauser y Jotzo, 2018). Además, un marco político unificado promueve el desarrollo de cadenas de suministro resistentes y sostenibles que se alinean con las normas de contratación ecológica y son menos susceptibles a las perturbaciones mundiales. Desde el punto de vista normativo, la coordinación de políticas en distintos ámbitos reduce la redundancia y aumenta la eficiencia, facilitando a las empresas el cumplimiento de la normativa medioambiental y fomentando al mismo tiempo la innovación (Kemp, 1997).

En particular, para España será esencial revisar y mejorar los marcos regulatorios para seguir apoyando la innovación y el despliegue de tecnologías limpias. El país debe evitar cambios bruscos en el marco regulatorio como los observados desde 2012 hasta 2017. Un ámbito regulatorio adaptable y predecible es capaz de fomentar las inversiones directas en determinadas tecnologías. España necesita fomentar la inversión del sector privado en energías renovables a través de incentivos fiscales, subvenciones y la mejora de las condiciones financieras para sostener el crecimiento de los sectores solar y eólico. Como tercera recomendación, España tendrá que invertir y modernizar la infraestructura de la red para integrar mejor las energías renovables, acomodar la creciente capacidad renovable y garantizar la seguridad energética. Por ejemplo, actualmente el país cuenta con 40 GW de capacidad de energía eólica a la espera de que se evalúe su solicitud de conexión a la red. La falta de capacidad de red disponible, una proactividad limitada en la planificación de la red o un cálculo conservador de la capacidad de acogida son algunos de los principales factores de retraso en España (Wind Europe, 2024). La colaboración internacional en este frente podría ser esencial para conectar mejor el mercado ibérico con el resto de Europa. Wind Europe (2024) también informa de que puede llevar hasta 9 años obtener un permiso de conexión a la red para parques eólicos nuevos o repotenciados. España se enfrentará a este problema más pronto que tarde, ya que los parques eólicos españoles se encuentran entre los más antiguos de Europa y el 27% de la capacidad instalada se acerca al final de su vida útil. Una política dinámica que se adapte a los avances tecnológicos y a los cambios económicos garantiza que la normativa siga siendo pertinente y apoye la competitividad industrial en un mercado mundial en rápida evolución. Esto es especialmente importante en el sector de las energías renovables, donde las barreras administrativas y normativas se perciben como los mayores obstáculos a la repotenciación de las turbinas eólicas (Simon-Martin et al. 2022).

En términos de innovación, es esencial aumentar las inversiones en investigación y desarrollo de tecnologías energéticas para cerrar la brecha tecnológica con las naciones líderes. También será importante dar prioridad a la investigación y el desarrollo en tecnologías de almacenamiento y gestión de la red para hacer frente a los retos de intermitencia y estabilidad que plantean las elevadas cuotas

de energías renovables. La contaminación atmosférica y el consumo eficiente de energía y CAC podrían ser dos de las categorías de productos verdes en las que la industria española puede mostrar una ventaja competitiva en los próximos años. España debería diversificar sus exportaciones de tecnología verde, especialmente en áreas de alta complejidad como la captura y almacenamiento de carbono (CAC), el hidrógeno verde y los sistemas avanzados de reciclaje. Las asociaciones público-privadas y el aumento de la financiación para I+D pueden fomentar la innovación y mejorar la competitividad en los mercados internacionales (Andres & Mealy, 2023). Los abundantes recursos renovables de España y su ubicación estratégica la sitúan como un centro potencial para la producción y exportación de hidrógeno verde a otros países de la UE. Acelerar las inversiones en infraestructuras de hidrógeno y establecer asociaciones internacionales puede ayudar a España a liderar este mercado energético emergente (Comisión Europea, 2020).

Adoptando estas estrategias, España puede abordar sus retos actuales y posicionarse como una economía verde competitiva, capaz de liderar tanto los esfuerzos nacionales de sostenibilidad como los mercados internacionales de tecnologías verdes. Aunque el análisis incluido en este informe considera a España como una economía abierta independiente y revela algunos puntos fuertes en los sectores de las tecnologías verdes, España puede beneficiarse significativamente de formar parte de un mercado europeo integrado de exportaciones verdes. Los marcos regulatorios y comerciales unificados de la UE pueden mejorar la capacidad de España para aprovechar la fuerza colectiva en tecnologías verdes. Alineándose con estrategias europeas más amplias y capitalizando sus propias ventajas sectoriales, España podría desempeñar un papel relevante a la hora de reforzar e impulsar el liderazgo europeo en exportaciones verdes.

## Referencias

- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hemous, D., Martin, R., & van Reenen, J. (2016). Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1-51.
- Alfranca, O. (2005). Private R&D and spillovers in european agriculture. *International Advances in Economic Research*, 11(2), 201-213. <https://doi.org/10.1007/s11294-005-3016-7>
- Anadon, L. D., Jones, A., & Peñasco, C. et al. (2022). Diez principios para la formulación de políticas en la transición energética: Lessons from Experience. The Economics of Energy Innovation and System Transition (EEIST) Consortium. <https://eeist.co.uk/eeist-reports/ten-principles-for-policy-making-in-the-energy-transition/>
- Andres, P. y Mealy, P. (2023) Navegador de la transición ecológica. Obtenido de [www.green-transition-navigator.org](http://www.green-transition-navigator.org).
- Andres, P., y Mealy, P. (2021). Navigating the green transition: insights for the G7. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment y Centre for Climate Change Economics and Policy, London School of Economics and Political Science.
- Andres, P., Mealy, P., Handler, N., & Fankhauser, S. (2023). ¿Naciones varadas? Transition risks and opportunities towards a clean economy. *Environmental Research Letters*, 18(4), 045004.

BBVA Spark (s.f.). El ecosistema español de startups empieza a destacar en el contexto europeo a pesar de la contracción de la inversión. <https://www.bbvaspark.com/contenido/en/news/spanish-ecosystem-startups-european-context/>

Bonnet, C., Hache, E., Seck, G. S., Simoen, M., & Carcanague, S. (2019). El nexo entre las negociaciones climáticas y la innovación baja en carbono: una geopolítica de patentes de energías renovables. Documento de trabajo 2019-1 del OIEA. <https://inis.iaea.org/records/Oy9gq-eee11>

Bowen, A., y Hepburn, C. (2014). Crecimiento verde: una evaluación. *Oxford Review of Economic Policy*, 30(3), 407-422.

Buiter, W.H., Ball, I., y Detter, D., (2020) A Stronger Recovery Through Better. Project Syndicate. <https://www.projectsyndicate.org/commentary/public-wealth-accounting-for-the-covid19-crisis-by-willem-h-buiter-et-al-2020-06>

CFMCA. (2019). La Coalición de Ministros de Finanzas para la Acción Climática. Visión general del Plan de Acción de Santiago para 2020, Madrid, 9 de diciembre.

Cherif, R., Hasanov, F. (2019). El retorno de la política que no será nombrada: Principios de política industrial. Serie de documentos de trabajo del FMI, WP/2019/074.

Chiappinelli, O., T. Gerres, K. Neuhooff, F. Lettow, H. de Coninck, B. Felsmann, E. Joltreau, G. Khandekar, P. Linares, J.C. Richstein, A. Sniegocki, J. Stede, T. Wyns, C. Zandt, L. Zetterberg (2021). A green COVID-19 recovery of the EU basic materials sector: identifying potentials, barriers and policy solutions. *Climate Policy*, 21, 1328 - 1346.

Red de Acción por el Clima (CAN). 2024. Cazador de mitos: La energía nuclear es una distracción peligrosa. Disponible en: <https://caneurope.org/content/uploads/2024/03/Nuclear-energy-mythbusting-CAN-Europe.pdf>

Del Río, P. y Mir-Artigues, P. (2014). Un cuento con moraleja: la burbuja de la inversión en energía solar fotovoltaica en España. Geneva: Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible Global Subsidies Initiative.

Draghi, M. (2024). El futuro de la competitividad europea. Publicaciones de la UE. Disponible en: [https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead\\_en](https://commission.europa.eu/topics/strengthening-european-competitiveness/eu-competitiveness-looking-ahead_en)

Comisión Europea. (2019). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones — El Pacto Verde Europeo. Comisión Europea. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)

Comisión Europea (2020). El Plan Europeo de Inversión Green Deal y el JTM explicados. Preguntas y respuestas. Comisión Europea. Disponible en: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda\\_20\\_24](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24)

Comisión Europea. (2024a). Resultados de la UE en materia de ciencia, investigación e innovación en 2024: Una Europa competitiva para un futuro sostenible. Dirección General de Investigación e Innovación.

Comisión Europea. (2024b). Por qué invertir en investigación e innovación es importante para una Europa competitiva, ecológica y justa: A rationale for public and private action. Dirección General de Investigación e Innovación.

Fankhauser, S., & Jotzo, F. (2018). Crecimiento económico y desarrollo con energía baja en carbono. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(1), e495.

- Ferguson, C., Marburger, L., Farmer, J. et al. (2010). ¿Un futuro nuclear para EE.UU.? *Nature*, 467: 391-393. <https://doi.org/10.1038/467391a>
- Fouquet, R. (2019). Introducción al manual sobre crecimiento verde. En *Manual sobre el crecimiento verde* (pp. 1-19). Edward Elgar Publishing. ISBN: 978 1 78811 067 9
- Fragkiadakis, K., Fragkos, P., & Paroussos, L. (2020). La I+D con bajas emisiones de carbono puede impulsar el crecimiento y la competitividad de la UE. *Energies*, 13(5236).
- Galindo, J., Linares, P. (2025).
- Garcés, E. y Daim, T. (2012). Impact of renewable energy technology on the economic growth of the USA. *Journal of the Knowledge Economy*, 3(3), 233-249. <https://doi.org/10.1007/s13132-010-0032-5>
- Grubb, M., Drummond, P., Poncia, A., McDowall, W., Popp, D., Samadi, S., ... & Pavan, G. (2021). Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO2 mitigation. *Environmental Research Letters*, 16(4), 043007.
- Halkos, G. y Gkampoura, E. (2020). Revisión del uso, los potenciales y las limitaciones de las fuentes de energía renovables. *Energies*, 13(11), 2206. <https://doi.org/10.3390/en13112906>
- Hidalgo, C. A., y Hausmann, R. (2009). Los componentes básicos de la complejidad económica. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), 10570-10575.
- Hidalgo, C. A., Balland, P. A., Boschma, R., Delgado, M., Feldman, M., Frenken, K., ... & Zhu, S. (2018). El principio de parentesco. En *Temas unificadores en sistemas complejos IX: Actas de la Novena Conferencia Internacional sobre Sistemas Complejos 9* (pp. 451-457). Springer International Publishing.
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., & Hausmann, R. (2007). El espacio de producto condiciona el desarrollo de las naciones. *Science*, 317(5837), 482-487.
- AIE (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, AIE, París. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- AIE (2021a). *Francia 2021 — Revisión de la política energética*. AIE — París.
- AIE (2021b). *España 2021 — Revisión de la Política Energética*. AIE — París.
- AIE (2023). *Energy Technology RD&D Budgets*. AIE — París.
- IPCC (2022). *Cambio Climático 2022: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU. doi: 10.1017/9781009157926
- IRENA (2023), *Renewable Power Generation Costs in 2022*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.
- Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. *Environmental and Resource Economics*, 45, 133-155.
- Kemp, R. (1997). *Política medioambiental y cambio técnico. A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*. Edgar Elgar, ISBN: 978 1 85898 506 0, 384 pp.
- Kivimaa, P., y Kern, F. (2016). ¿Destrucción creativa o mero apoyo a nichos? Combinaciones de políticas de innovación para transiciones hacia la sostenibilidad. *Política de investigación*, 45(1), 205-217.

- Lach, S. (2002). ¿Las subvenciones a la I+D estimulan o desplazan la I+D privada? Evidence from Israel. *Journal of Industrial Economics*, 50(4), 369-390. <https://doi.org/10.1111/1467-6451.00182>
- Lee, D. y Kim, K. (2021). Research and development investment and collaboration framework for the hydrogen economy in South Korea. *Sustainability*, 13(19), 10686. <https://doi.org/10.3390/su131910686>
- Mealy, P., & Teytelboym, A. (2022). Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 51(8). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>
- Meng, J., Way, R., Verdolini, E., & Diaz Anadon, L. (2021). Comparing expert elicitation and model-based probabilistic technology cost for the energy transition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(27), e1917165118. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917165118>
- Neffke, F., Henning, M., & Boschma, R. (2011). ¿Cómo se diversifican las regiones a lo largo del tiempo? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Geografía económica*, 87(3), 237-265.
- Nugée, J. (2020). Gestión moderna de las reservas de los bancos centrales: Introducción y visión general. En: Bjorheim, J. (Ed.). *Asset Management at Central Banks and Monetary Authorities: Nuevas prácticas en la gestión de las reservas internacionales de divisas*, 385-397.
- Porter, M. E., y Linde, C. van der. (1995). Hacia una nueva concepción de la relación medio ambiente-competitividad. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.
- Pray, C. y Fuglie, K. (2015). Agricultural research by the private sector. *Annual Review of Resource Economics*, 7(1), 399-424. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100814-125115>
- Qadir, S. A., Al-Motairi, H., Tahir, F., & Al-Fagih, L. (2021). Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*, 7, 3590-3606.
- Qiu, L., Chen, Z., Lu, D., Hu, H. y Wang, Y. (2014). Public funding and private investment for R&D: a survey in China's pharmaceutical industry. *Health Research Policy and Systems*, 12(27). <https://doi.org/10.1186/1478-4505-12-27>
- Ravšelj, D. y Aristovnik, A. (2018). El impacto de los gastos privados en investigación y desarrollo y los incentivos fiscales en el crecimiento empresarial sostenible en países seleccionados de la OCDE. *Sustainability*, 10(7), 2304. <https://doi.org/10.3390/su10072304>
- Rehman, N., Hysa, E., & Mao, X. (2020). Does public R&D complement or crowd-out private R&D in pre and post economic crisis of 2008? *Journal of Applied Economics*, 23(1), 349-371. <https://doi.org/10.1080/15140326.2020.1762341>
- Reuters (2024). La eléctrica francesa EDF eleva el coste de sus nuevos reactores a 67.000 millones de euros — Les Echos. Disponible en: <https://www.reuters.com/business/energy/french-utility-edf-lifts-cost-estimate-new-reactors-67-bl-euros-les-echos-2024-03-04/>
- Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow III, W. R., Zhou, N., ... & Helseth, J. (2020). Tecnologías y políticas para descarbonizar la industria mundial: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied energy*, 266, 114848.
- Rodríguez-Pose, A., & Wilkie, C. (2017). Innovación y competitividad en la periferia de Europa. En *Handbook of Regions and Competitiveness* (pp. 351-380). Edward Elgar Publishing.
- Rodrik, D. (2014). Green industrial policy. *Oxford review of economic policy*, 30(3), 469-491.
- Rogge, K. S., y Reichardt, K. (2016). Combinaciones de políticas para transiciones hacia la sostenibilidad: Un concepto ampliado y un marco para el análisis. *Research Policy*, 45(8), 1620-1635.

Rubio, S., García, J., & Hueso, J. (2009). Crecimiento neoclásico, medio ambiente y cambio tecnológico: la curva de kuznets ambiental. *The Energy Journal*, 30(2\_suppl), 143-168. <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol30-nosi2-7>

Semieniuk, G., & Mazzucato, M. (2019). Financiación del crecimiento verde. *Manual sobre crecimiento verde*, 240-259.

de Simón-Martín, M., Ciria-Garcés, T., Rosales-Asensio, E., & González-Martínez, A. (2022). Identificación multidimensional de barreras para la repotenciación de parques eólicos en España mediante un enfoque de juicio experto. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112387.

Soete, L., Verspagen, B., & Ziesemer, T. (2019). El efecto de productividad de la I+D pública en los Países Bajos. *Economics of Innovation and New Technology*, 29(1), 31-47. <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1580813>

Stoknes, P. E., & Rockström, J. (2018). Redefiniendo el crecimiento verde dentro de los límites planetarios. *Investigación energética y ciencias sociales*, 44, 41-49.

Tapoglou, E., Tattini, J., Schmitz, A., Georgakaki, A., Długosz, M., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Joanny Ordonez, G., Eulaerts, O.D. y Grabowska, M., *Clean Energy Technology Observatory: Wind energy in the European Union — 2023 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2023, doi:10.2760/618644, JRC135020.

Terzi, A. (2022). *Growth for Good: Reshaping Capitalism to Save Humanity from Climate Catastrophe*. Harvard University Press: Londres. ISBN: 97800674276321, pp. 345.

Way, R., Ives, M. C., Mealy, P., & Farmer, J. D. (2022). Empirically grounded technology forecasts and the energy transition. *Joule*, 6(9), 2057-2082. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.009>

Weik, S., Achleitner, A. K., & Braun, R. (2024). Venture capital and the international relocation of startups. *Research Policy*, 53(7), 105031.

World Population Review. (s.f.). Unicornios por países. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/unicorns-by-country>

Zenghelis D, Taylor C, Stern N (2022) Policies for investing in sustainable growth: risks and opportunities in the current macroeconomic environment. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment y Centre for Climate Change Economics and Policy, London School of Economics and Political Science. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/policies-for-investing-in-sustainable-growth-risks-and-opportunities-in-the-current-macroeconomic-environment/>

Zenghelis, D., Serin, E., Stern, N. H., Valero, A., Van Reenen, J., & Ward, B. (2024). Boosting growth and productivity in the United Kingdom through investments in the sustainable economy. Instituto Grantham de Investigación sobre Cambio Climático y Medio Ambiente. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2024/01/Boosting-growth-and-productivity-in-the-UK-through-investments-in-the-sustainable-economy.pdf>

## Anexo

Tabla A1. Categorías verdes en España: Ventaja Comparativa Revelada (RCA), Índice de Complejidad del Producto (PCI) y Proximidad.

País	Categoría	RCA	PCI	Proximidad
<b>Fuerza competitiva verde</b>				
ES	Reducción del ruido y las vibraciones	2,38	0,67	0,4452
ES	Tecnologías y productos más limpios o eficientes en el uso de los recursos	2,24	0,55	0,4245
ES	Protección de los recursos naturales	1,92	-1,01	0,4546
ES	Eficiencia energética	1,25	0,31	0,4213
ES	Gestión de residuos sólidos y peligrosos y sistemas de reciclaje	1,21	0,53	0,4299
ES	Energías renovables	1,12	0,37	0,4231
ES	Gestión de aguas residuales y tratamiento de agua potable	1,11	0,41	0,4230
ES	Gestión, reciclado y remediación de residuos	1,11	-0,07	0,4417
ES	Limpieza o saneamiento del suelo y el agua	1,02	0,73	0,4085
ES	Gestión del calor y la energía	1,02	0,52	0,4343
<b>Oportunidad verde</b>				
ES	Control de la contaminación atmosférica	0,96	0,76	0,4175
ES	Tecnologías de consumo eficiente de energía y captura y almacenamiento de carbono	0,88	0,60	0,4201
ES	Otros	0,81	1,04	0,4222
ES	Reducción de las emisiones de la quema de gas	0,76	1,03	0,4092
ES	Gestión de recursos y contaminación	0,57	0,86	0,4068
ES	Suministro de agua	0,47	0,56	0,4116
ES	Productos ambientalmente preferibles en función de sus características de uso final o eliminación	0,40	-1,28	0,4252

País	Categoría	RCA	PCI	Proximidad
ES	Equipos de vigilancia, análisis y evaluación medioambientales	0,36	0,92	0,3784
ES	Gestión de riesgos naturales	0,31	-0,58	0,4268

*Fuente: Andres y Mealy (2023) — Navegador de la transición ecológica.*