

Innovación en energía en España

Análisis y recomendaciones

[Informe 2012]

Créditos

El presente informe ha sido preparado por Adela Conchado (Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas), Laura Díaz Anadón (Harvard Kennedy School) y Pedro Linares. Su elaboración ha contado con la ayuda de Álvaro López-Peña (Instituto de Investigación Tecnológica, U. Pontificia Comillas), que ha facilitado el modelo energético usado en el capítulo 3 y muchos de los datos de partida, y también de Valentina Bosetti (FEEM), que ha proporcionado algunas de las estimaciones de expertos utilizadas en dicho capítulo 3.

Los informes anuales de Economics for Energy son aprobados por la junta directiva del centro, sin que sus opiniones reflejen necesariamente la visión de los socios sobre las cuestiones tratadas.

Diseño y Maquetación seteseoitodeseñográfico

ISSN 2172-8127

Economics for Energy
Dr. Cadaval 2, 3E
E-36202 Vigo
info@eforenergy.org
www.eforenergy.org

Impreso sobre papel 100% reciclado.

Por tercer año consecutivo, y sin faltar a nuestra cita anual desde la creación de *Economics for Energy*, nos complace presentar el informe anual del centro, que en este caso tiene como tema otra de sus líneas prioritarias de investigación: el análisis de la innovación en el ámbito energético.

Economics for Energy es un centro de investigación especializado en el análisis económico de las cuestiones energéticas y se constituye como una asociación sin ánimo de lucro participada por administraciones públicas, universidades, empresas y fundaciones. La misión de *Economics for Energy* es crear conocimiento en el ámbito de la economía de la energía y transferirlo de forma eficaz para informar, orientar y asesorar la toma de decisiones de agentes públicos y privados.

Economics for Energy sigue los procedimientos académicos habituales para crear conocimiento, con el rigor y profundidad adecuados. Sus otras líneas de trabajo se centran en el análisis de la demanda de energía, el diseño y evaluación de las políticas energético-ambientales, la valoración de la seguridad energética y la prospectiva tecnológico-regulatoria en el sector energético. Este conocimiento se transfiere a través de informes de situación, como el que nos ocupa, y la organización de seminarios y jornadas sobre temas relevantes de actualidad para el sector energético.

Este tercer informe es fruto de la colaboración de dos de los centros de investigación de referencia en materia de energía del mundo, y con los que *Economics for Energy* mantiene una relación privilegiada: el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas (socia de *Economics for Energy*) y el Belfer Center for Science and International Affairs de la Harvard Kennedy School.

En esta ocasión, el informe analiza la situación del sistema de innovación en energía en España. La innovación en energía es uno de los componentes fundamentales que permitirán alcanzar un modelo energético con menores emisiones de contaminantes, con mayor seguridad energética, y a un menor coste. Además, la innovación, como inversión en capital humano y tecnológico, resulta esencial para el crecimiento económico y el desarrollo social, ya que puede contribuir a crear el tan necesario valor añadido doméstico y a mejorar la competitividad de la economía española. Por tanto, resulta de gran interés evaluar la eficiencia y efectividad de este sistema para conseguir esos y otros objetivos.

El informe reflexiona así en primer lugar sobre el interés de las políticas de innovación en energía, para luego realizar un diagnóstico de la situación a partir de indicadores. También se presenta un análisis de la rentabilidad, medida exclusivamente en términos de ahorros de coste energético, que podría suponer un estímulo de la innovación en energía. A partir del diagnóstico y de los resultados, se ofrecen unas recomendaciones preliminares sobre acciones prioritarias a desarrollar para promover una innovación efectiva en materia de energía en España.

Como en otros informes anuales, pretendemos apuntar los aspectos principales que subyacen al problema e identificar áreas en las que es necesario desarrollar investigación adicional. Esperamos también que este informe pueda contribuir a un mejor entendimiento y difusión de las implicaciones económicas de la política energética española e internacional y que, junto a las otras actividades de *Economics for Energy*, sea del interés de los expertos en el sector energético y del resto de la sociedad.

Xavier Labandeira y Pedro Linares

Directores de Economics for Energy



[0 1]

Introducción

- 1.1. ¿Por qué necesitamos innovación en energía?**
- 1.2. ¿Por qué no se innova lo suficiente?**
- 1.3 Objetivos del informe**

1.1

¿Por qué necesitamos innovación en energía?

La energía sigue siendo fundamental para el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad. Para alcanzar niveles de bienestar similares a los de los países desarrollados, muchos países necesitarán, y tratarán de, incrementar su consumo de energía. Además, todavía existe un número grande de personas (más de mil millones, según las estimaciones de la IEA) que no tienen acceso a formas avanzadas de energía, y que también contribuirán al aumento del consumo global cuando logren, ojalá, este acceso.

Por tanto, la sociedad global cada vez necesitará más recursos para proveer esta creciente demanda de servicios energéticos, algo que choca con el carácter finito de los recursos energéticos fósiles, ahora mismo la principal fuente de energía a nivel global, y también con la escasez de otros recursos necesarios para producir, transportar o consumir la energía. Esta escasez de recursos está llevando ya a aumentos significativos en sus precios, y más aún, a una elevada volatilidad de los mismos, con los correspondientes efectos perniciosos sobre la economía global y de los distintos países, en función de su grado de exposición o dependencia energética.

Por otra parte, los recursos energéticos fósiles también están contribuyendo a la creación de problemas ambientales a gran escala. Tanto el calentamiento global inducido por el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, como los fenómenos de contaminación atmosférica por SO₂, NO_x, o partículas (con sus correspondientes daños sobre la salud o los ecosistemas) se deben en gran medida a la producción y consumo de energía. En especial, la amenaza de un calentamiento global por encima de niveles tolerables está llevando a muchos países (con la Unión Europea como ejemplo más característico) a plantearse la descarbonización a gran escala de sus sistemas energéticos.

Parece precisa por tanto una transformación sustancial del sector energético que permita satisfacer las necesidades de energía en condiciones asequibles de coste y sin impactos significativos sobre el medio ambiente. Ante esta situación cada vez es más prioritario el papel de las distintas medidas de ahorro y eficiencia energética (que se trataron para España en el informe anterior de Economics for Energy). Sin embargo, el ahorro y la eficiencia tienen un recorrido limitado. Para España, por ejemplo, el citado estudio consideraba factibles ahorros de un 40% para 2030. Otros estudios mencionan cifras parecidas. Pero, ¿qué hacer con la demanda que resta por satisfacer?

Aquí es donde la innovación juega un papel fundamental: hacen falta nuevas tecnologías, o mejoras sobre las existentes, que permitan seguir produciendo energía, pero hacerlo de forma barata y respetuosa con el medio ambiente. De hecho, incluso el ahorro y la eficiencia requieren también de nuevas tecnologías que faciliten las reducciones en el consumo. La innovación es en este sentido una herramienta fundamental para conseguir un sistema energético sostenible, que cree un nivel creciente de bienestar, y que también aumente el capital de conocimiento de la sociedad.

Multitud de estudios¹ han señalado ya la necesidad de esta innovación, que en algunos casos debe ser radical, con aumentos de entre 2 y 10 veces el nivel de innovación actual. La Unión Europea por ejemplo menciona que harán falta entre 48 y 60 mil millones de euros de inversión en tecnologías innovadoras para alcanzar los objetivos propuestos de descarbonización y seguridad energética (SET-Plan).

La magnitud del esfuerzo requiere un análisis profundo e integral de todas las posibilidades para realizar esta innovación y hacerlo de la manera más eficiente posible. Así, se ha resaltado en numerosos informes la necesidad de considerar conjuntamente la diversidad de actores y políticas que afectan a la innovación en el campo de la energía². De esta forma será posible determinar el papel que deben jugar los gobiernos y también los agentes privados, y los instrumentos más adecuados para estimular la innovación.

Todo esto también aplica a España, por supuesto, y en algunos casos con tintes más acentuados. España es un país muy dependiente del exterior en materia de energía (en 2011, el saldo comercial energético contribuyó en un 88% al déficit de la balanza comercial española), con los consiguientes riesgos de precio en el suministro y el impacto sobre la competitividad de nuestra economía. En lo que se refiere a impacto ambiental, nuestra economía sigue presentando un nivel elevado de emisiones de CO₂. La utilización de tecnologías avanzadas puede contribuir en gran medida a aliviar estos problemas.

Sin embargo, cabe cuestionarse el interés de un país de medio tamaño como el nuestro, integrado en la Unión Europea y en un mundo globalizado, por promover la innovación energética. Efectivamente, podría tener sentido delegar esta actividad en la UE, o en otros países, para beneficiarse de los avances posteriormente.

Sin embargo, y en respuesta a esto, hay que decir que el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas puede constituirse en una, más que bienvenida en estos momentos, fuente de valor añadido y empleo. La inversión en conocimiento, en innovación, puede traer importantes réditos a medio plazo, transformando nuestro sistema productivo para hacerlo más robusto y más competitivo (Rai y Patel, 2011). Además, España cuenta con un tejido de innovación y productivo en el sector energético más desarrollado que en otros países (Molero, 2012) y que puede interesar aprovechar. Por supuesto, para poder apropiarse de este valor añadido será necesario diseñar de forma adecuada las políticas de innovación, un tema que se tratará en capítulos siguientes.

1.2

¿Por qué no se innova lo suficiente?

A pesar de los evidentes beneficios de la innovación en energía, ya señalados anteriormente, y en particular para España, lo cierto es que los resultados hasta el momento han sido claramente insuficientes. Los problemas de precio o medioambientales asociados a la producción y consumo de energía siguen aumentando a pesar de la actividad de los gobiernos en este sentido. La razón fundamental es que los procesos de innovación se enfrentan a numerosos obstáculos, en algunos casos fallos de mercado, y en otros barreras institucionales o de otro tipo, que hacen que el nivel de innovación no sea el deseable.

En esta sección presentamos brevemente los principales fallos de mercado y barreras que hay que eliminar para que la innovación pueda alcanzar su nivel apropiado. Pero en primer lugar, definiremos lo que se entiende por innovación en este informe.

1 (American Energy Innovation Council, 2010); (Anadon et al., 2011); (NCEP, 2004); (NCEP, 2004); (Nemet y Kammen, 2007); (PCAST, 1997); (PCAST, 2010).

2 (Anadon et al., 2011); (DTI, 2007); (GEA, 2012); (Lester y Hart, 2011); (PCAST, 2010); (Weiss y Bonvillian, 2009).

1.1.2. El proceso de innovación

El proceso de innovación no se limita al I+D que produce nuevas tecnologías o mejora tecnologías existentes, sino que no está completo hasta que estas nuevas tecnologías o mejoras de tecnologías conocidas no se utilizan de manera generalizada. Este es un proceso complejo, que interesa conocer bien para diseñar y evaluar políticas de innovación apropiadas.

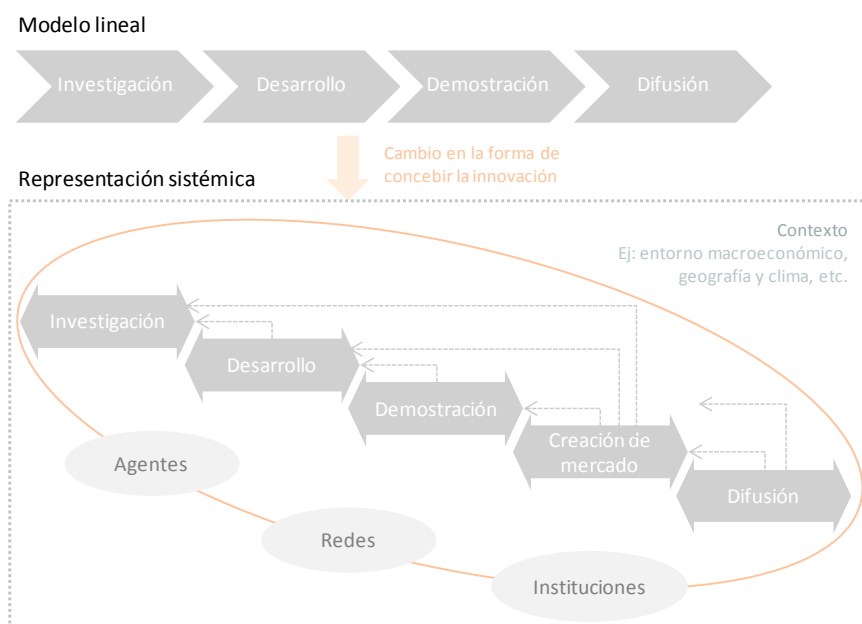
Inicialmente, los modelos teóricos utilizados para explicar el proceso de innovación representaban una evolución lineal, con etapas secuenciales, empezando por la investigación, siguiendo con el desarrollo y la demostración tecnológica, y acabando con la difusión de la tecnología en el mercado (ver Figura 1).

En las últimas décadas del siglo XX se empezó a entender el proceso de innovación como algo más complejo y menos lineal. El modelo de “conexión en cadena” refleja las interacciones bidireccionales, por las cuales el aprendizaje (o la mejora tecnológica) en una fase depende de las otras fases (Kline y Rosenberg, 1986). En otras palabras, en la práctica, muchas de las etapas tienen lugar en paralelo y, en muchos casos, la difusión generalizada de una tecnología resulta en flujos de información (feedback) que llevan a cambios en la investigación (Grübler, 1998). Es más, en muchos casos, la innovación tecnológica consiste en combinar tecnologías existentes (Arthur, 2009). Esta concepción sistémica del proceso de innovación enfatiza el hecho de que la innovación es una actividad colectiva que involucra a muchos actores e interacciones, y que además depende fuertemente de la estructura institucional y de los incentivos dentro del sistema³.

Otra característica importante del proceso de innovación es que los agentes que participan en él actúan dentro de unas condiciones de incertidumbre (Raven, 2007). Una parte muy importante de estimular la innovación tiene que ver con trabajar con esta incertidumbre, planear teniendo en cuenta que no todas las tecnologías acaban siendo comercializadas.

Figura 1: Evolución conceptual del proceso de innovación.

Arriba: modelo lineal, ahora obsoleto. Abajo: representación más completa del proceso de innovación incluyendo interacciones entre las distintas etapas.



Fuente: Adaptación de (GEA, 2012)

3 (Edquist y Johnson, 1997); (Gallagher et al., 2012); (Lundvall, 2007); (Gallagher et al., 2011).

La literatura en los procesos de innovación en energía subraya la importancia de tres elementos: el conocimiento y el aprendizaje, las economías de escala, y el papel de los actores e instituciones en el área de la innovación (Gallagher et al., 2012).

La creación de nuevos conocimientos es parte esencial de la innovación. Es importante además reconocer que el conocimiento puede ser explícito (contenido en revistas periódicas, libros, e informes) o tácito (por ej.: experiencia acumulada por un ingeniero de planta, o cambios realizados en una línea de producción que no están documentados) (Rosenberg, 1982). Además, en muchos casos, los conocimientos en un área de conocimiento acaban siendo importantes para el avance técnico en otra área. Por ejemplo, los conocimientos en motores a reacción fueron indispensables para conseguir mejoras en las turbinas de gas, los avances en computación hicieron posible la extracción de hidrocarburos de lugares más remotos, y las mejoras en el área de semiconductores han resultado en mejoras en el sector fotovoltaico. Denominados “spillovers”, este tipo de conocimientos resaltan la importancia de las conexiones entre distintas áreas de conocimiento y sectores industriales.

Las economías de escala también juegan un papel importante en el proceso de innovación: en el momento en que las nuevas tecnologías cuentan con un mercado en el que difundirse, los mayores volúmenes de producción permiten bajar sus costes, y por tanto acelerar su difusión, en un círculo virtuoso. La entrada en fase comercial de las tecnologías también permite que se beneficien de los avances en las técnicas de producción y de gestión de la cadena de suministro, que no eran aplicables en las fases de prototipo o demostración.

Finalmente cabe destacar la multitud de actores e instituciones que juegan un papel importante en el proceso de innovación en general, y en el área de la energía en particular. Se entiende que los actores son personas u organizaciones que actúan en el proceso, como por ejemplo investigadores en universidades y empresas, el Ministerio de Industria, funcionarios del Ministerio de Ciencia e Innovación en España, el ejecutivo, las cámaras de comercio, las asociaciones industriales, las empresas que deciden si instalar nuevas tecnologías, las ONGs medioambientales, y los consumidores que deciden qué tipo de productos comprar, entre muchos otros. Las instituciones son las reglas (formales o informales), normas, formas de tomar decisiones, creencias, y costumbres que regulan y afectan la interacción de los actores (Lundvall et al., 2002).

Como veremos a continuación, existen obstáculos a la innovación asociados a cada uno de estos elementos: a la creación y transferencia de conocimiento, a la consecución de economías de escala, y a las instituciones. En particular, una de estas instituciones, el mercado, presenta importantes fallos que pueden ralentizar el proceso innovador.

1.2.2. Fallos de mercado

La innovación en energía se enfrenta a una combinación de fallos de mercado en las áreas del conocimiento e innovación, en la del medio ambiente, y también a fallos de información. Esta combinación “explosiva” es la que hace que, comparado con otros sectores, las políticas de innovación en materia energética sean especialmente necesarias.

El primer fallo de mercado es común a todos los tipos de innovación, y se basa en el carácter de bien público del conocimiento: efectivamente, el conocimiento es un bien no (o difícilmente) excluible, ya que se transmite con relativa facilidad. Incluso con mecanismos de protección de la propiedad (como las patentes) es fácil observar cómo las ideas son replicadas por todo el mundo rápidamente. Este hecho se combina además con que el conocimiento es no rival, es decir, el uso de este conocimiento por parte de unos no crea perjuicio a otros (sino más bien todo lo contrario en ocasiones). Así, la creación de conocimiento produce beneficios para toda la sociedad, pero el que los crea difícilmente puede capturarlos. Esto lleva a que generalmente se cree menos conocimiento del que sería óptimo para la sociedad, salvo que los gobiernos intervengan para corregir este fallo del mercado.

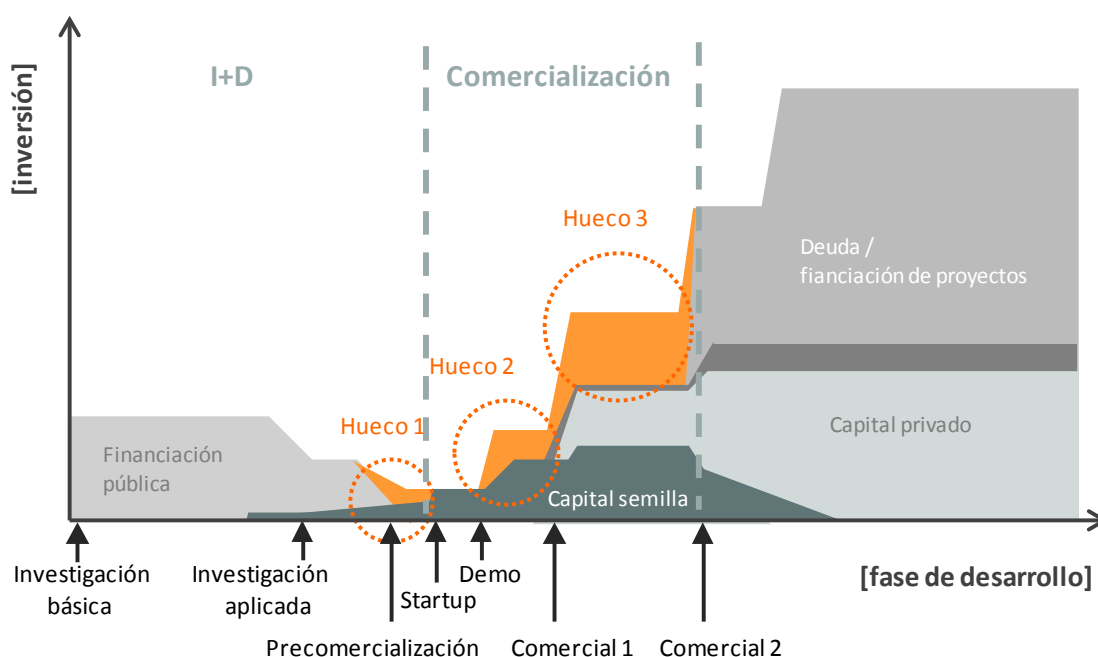
El segundo fallo de mercado es el correspondiente a las externalidades medioambientales, y en algunos casos, asociadas a la seguridad de suministro, creadas por las tecnologías actuales de producción y consumo de energía. La presencia de estas externalidades, costes impuestos a la sociedad por estas tecnologías pero no incluidos en sus costes, hace que el mercado no sea capaz de asignar correctamente por sí mismo los recursos energéticos, y que penalice incorrectamente las tecnologías más respetuosas con el medio ambiente o las de ahorro y eficiencia energética, que como vimos anteriormente son esenciales para la transformación del sistema energético.

El tercer fallo de mercado vendría de la mala información o la información asimétrica que tienen los consumidores sobre la rentabilidad a largo plazo de productos más eficientes en términos de energía. También está en esta categoría el problema “principal-agente” por el que en muchos casos la entidad encargada de comprar equipos no es la misma que la encargada de pagar los costes energéticos de los mismos.

La ausencia de información perfecta de los agentes, y la inexistencia de mercados completos que cubran la incertidumbre asociada al riesgo tecnológico, también da lugar al llamado “valle de la muerte”, que es como se conoce la etapa del proceso de innovación en que es indispensable obtener financiación para poder progresar, y en la que en cambio es difícil obtenerla. Esto lleva a que la mayoría de las tecnologías innovadoras nunca lleguen a comercializarse (Ogden et al., 2008; Weyant, 2011). La Figura 2 es solamente ilustrativa pero indica las etapas de financiación donde puede haber problemas y los actores que participan en las distintas etapas de innovación en tecnologías limpias. Generalmente se habla de dos valles de la muerte en la financiación: uno al pasar de un concepto a un prototipo y otro en la demostración tecnológica a escala comercial. (Aunque la Figura 2 incluye tres huecos de financiación, es útil para ilustrar los dos huecos principales de financiación principales, ya que los huecos 2 y 3 están en el área de la demostración).

Figura 2: Ilustración aproximada del perfil de la inversión de capital en tecnologías limpias.

El diagrama representa las necesidades de inversión en una tecnología limpia hipotética.
La escala y los huecos de financiación pueden variar con la tecnología.



Fuente: Adaptación de diagrama de Mohr Davidow Ventures (Palo Alto, California)

1.2.3. Otras barreras

Además de los problemas relacionados con los fallos del mercado y en especial la falta de financiación cuando el riesgo tecnológico es alto y el capital que se necesita es considerable, los procesos de innovación también se enfrentan a otras barreras. Como ya se ha mencionado, la complejidad de los actores, instituciones, e interacciones del sistema de innovación pueden resultar en dificultades a la hora de conseguir que nuevas tecnologías se difundan en el mercado. Estas dificultades se pueden clasificar en fallos en la estructura de mercado, fallos en la infraestructura, problemas institucionales, problemas de interacción, y problemas de capacidad (ver Tabla 1). Algunos de hecho se pueden considerar también como fallos de mercado, aunque no tan relevantes como los mencionados anteriormente. Por ejemplo, la desventaja de las nuevas tecnologías frente a las existentes se debe en parte al fenómeno conocido como “lock-in” tecnológico, o en su término económico, externalidades de red. Este mismo elemento es el que explica también en ocasiones la falta de adaptación de las infraestructuras.

Tabla 1: Resumen de posibles barreras del sistema de innovación

Tipo de barrera	Algunos ejemplos
Fallos en la estructura de mercado	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dificultad de entrada de nuevos actores ➤ Desventaja de partida de nuevas tecnologías frente a tecnologías existentes ➤ Falta de predictibilidad del mercado
Fallos en infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Insuficientes o deficientes centros de investigación ➤ Escaso conocimiento adquirido ➤ Insuficientes o inapropiadas infraestructuras físicas (como redes eléctricas o de gas)
Problemas institucionales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desequilibrio entre investigación básica y aplicada ➤ Limitaciones en las instituciones de transferencia de tecnología ➤ Deficiencias en el sistema educativo
Problemas de interacción	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Falta de interacción entre actores e instituciones ➤ Interacción excesiva que condiciona decisiones en la línea equivocada ➤ Red de interacciones demasiado cerrada que no permite la entrada de nuevos actores
Problemas de capacidad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Insuficientes recursos financieros ➤ Falta de conocimiento o competencias ➤ Dificultad de aprendizaje

Fuente: (Negro et al., 2012)

1.2.4. El caso particular de la innovación en energía

Además de los fallos de mercado relacionados con las externalidades medioambientales de la energía y los problemas relacionados con la falta de información (o la información incompleta), el sector de la energía presenta otras características que dificultan la innovación que han contribuido históricamente a un esfuerzo inadecuado en muchos países.

- El primer factor que ha dificultado la innovación en el área es la falta de concienciación acerca de la importancia de la innovación en energía por parte de la administración pública y el público. Esto conlleva una falta de voluntad a la hora de actuar (Anadon y Holdren, 2009).
- A esto se puede añadir la omnipresencia de la energía y de la multitud de actores e instituciones que juegan un papel en la innovación, entendida desde la invención hasta la difusión. Esto hace muy difícil la coordina-

ción de incentivos y de acciones, particularmente en los casos en los que no hay una estrategia clara guiando las acciones de las distintas organizaciones e identificando qué políticas complementarias pueden ser necesarias para mejorar la eficacia del sistema de innovación (para evitar los valles de la muerte o simplemente para acelerar el proceso de comercialización). Efectivamente, el sector es tan ubicuo que es difícil acotar el sector de la energía (Molero, 2012) y la innovación que puede considerarse innovación en energía (Anadon et al., 2011).⁴

- El tercer factor es la elevada incertidumbre presente en el sector, combinada con una estructura empresarial que prima los resultados a corto plazo, en el caso de las grandes compañías cotizadas en bolsa. Las empresas más pequeñas, por otra parte, no tienen la suficiente masa crítica y recursos para invertir en proyectos de largo plazo al no poder cubrirse adecuadamente frente al riesgo.
- El cuarto factor está relacionado con el hecho de que la electricidad y los combustibles líquidos para el transporte son “materias primas”: al ser indistinguible su origen, la competencia en el consumo final se establece únicamente en términos de coste y no de sus características ambientales, por ejemplo. Y en este ámbito las tecnologías convencionales presentan ventajas.
- Esta ventaja de las tecnologías existentes se ve reforzada en el caso del sector energético por el gran peso de las inversiones y su larga vida. Esto refuerza la barrera ya comentada anteriormente del “lock-in” tecnológico, que en el caso del sector energético es muy importante (Unruh, 2000). Por ejemplo, si una empresa quiere vender coches eléctricos, se puede encontrar con el problema de que los consumidores no siempre tienen la infraestructura necesaria para recargarlos. Lo mismo sucede con la generación distribuida frente a la necesidad de pagar los costes de una red centralizada.
- Este gran peso de la inversión en el sector energético también acentúa los problemas de financiación de las tecnologías innovadoras en energía. La comercialización de innovaciones tecnológicas en el área de la energía requieren inversiones de capital mayores que las inversiones que se necesitan en otros campos (Grubb, 2004; en IEA, 2012), lo que hace que la iniciativa privada tenga menos peso en este sector por la gran escala del riesgo al que se enfrenta.
- Además, la innovación, por su propia naturaleza, amenaza el “status quo”, ya que cambia las reglas del juego y el reparto de los beneficios entre los agentes. Aunque la sociedad en su conjunto gane con ella, los agentes establecidos pierden. Teniendo en cuenta que los agentes establecidos son los que cuentan con los lobbies más poderosos para defender su posición, no es de extrañar que haya poca defensa pública, en los entornos de decisión política, a favor de la innovación.

Un informe relativamente reciente de la Comisión Europea concluye que los factores que se han enumerado (las externalidades, la incertidumbre, y las características del sector energético) son los mayores responsables del “hueco de financiación” en el área de la energía en Europa (Comisión Europea, 2009a).

En este sentido, conviene también resaltar que no se puede equiparar el sector de la energía con el sector de internet. El modelo de negocio de una start-up de internet es muy distinto al que podría tener una start-up en la energía, con la excepción quizás de start-ups que trabajan en el área de la eficiencia energética (es decir, en el tramo minorista). Mien-

4 (Anadon et al., 2011) presentan una clasificación del tipo de entidades que pueden tener actividades en innovación en energía. Entidades que: (1) extraen, convierten, o distribuyen recursos energéticos, (2) fabrican equipos utilizados para la extracción, conversión, o distribución de energía, (3) proveen materiales necesarios para la fabricación de equipos utilizados en la extracción, conversión, o distribución de energía, (4) usan una gran cantidad de energía en sus operaciones, (5) venden productos que consumen mucha energía, (6) venden productos que afectan el consumo de energía en edificios, (7) realizan actividades de I+D en proyectos relacionados con la energía, y (8) ayudan a otras entidades a reducir su consumo de energía.

tras que los prototipos en el sector de internet suelen estar listos después de unos meses, en el caso de las tecnologías de generación y almacenamiento, “hardware” como paneles solares, baterías, y biocombustibles, este proceso suele tardar años (Lassiter, 2010), si no décadas.

Como consecuencia quizá de todos los factores mencionados anteriormente, el sector energético también se diferencia de otros sectores en la intensidad de I+D, definida como el porcentaje de ventas invertido en I+D. Mientras que la intensidad de I+D en las empresas tradicionales en el sector energético (eléctricas, mineras, y petroleras) no llega al 1%, en otros sectores industriales es mucho mayor: en la industria automovilística es del 4,7%, en la industria de componentes eléctricos del 4,6%, en la industria farmacéutica es del 13,7%, y en la industria biotecnológica del 23,4% (JRC, 2011).

A esto han contribuido también los procesos de liberalización, que alejan al sector de consideraciones de carácter ambiental o público en su toma de decisiones. Los estudios disponibles indican que las tendencias de inversión en I+D en el sector privado, por lo menos en el sector de las empresas de generación eléctrica, no están mejorando. (Kim et al., 2012) evalúan el impacto de la reestructuración de los sistemas de generación (liberalización, separación vertical, privatización y tamaño de las empresas) en el periodo 1990-2008 en la inversión en I+D de las empresas de generación eléctrica a partir de datos de 70 empresas de diferentes países de la OECD. Concluyen que la reestructuración del sector ha ido asociada, en general, a una disminución de las inversiones en I+D: el efecto de la liberalización ha sido negativo (muy especialmente el relacionado con la introducción de un mercado mayorista de generación, aunque también los asociados a la introducción del mercado minorista y a permitir el acceso a terceros), mientras que el efecto de la privatización, a pesar de no ser muy significativo considerado de forma independiente, potencia el efecto negativo asociado al mercado mayorista.

(Sterlacchini, 2012) analiza diez de las mayores empresas de energía a nivel mundial y concluye que la inversión en I+D ha caído en aquellas que eran privadas o han pasado a serlo recientemente, mientras que se ha mantenido en niveles similares en aquellas que se han mantenido bajo control público.

1.2.5. ¿Cuál es el papel de los gobiernos?

Los fallos de mercado y las numerosas barreras que dificultan el proceso de innovación indican que el mercado por sí mismo no puede producir la innovación que la sociedad necesita. Como veíamos en la sección anterior, la evidencia muestra que los procesos de liberalización han traído más bien resultados negativos a este respecto. Por tanto, cada vez parece más necesaria la participación de los gobiernos para alcanzar el nivel de innovación necesario para a su vez lograr la transformación requerida en el sector energético.

Esta intervención debe dirigirse a solucionar todos los fallos de mercado y barreras presentes en esta área, y no sólo algunos de ellos, como hacen las políticas actuales. Los análisis disponibles indican por ejemplo que el mercado de emisiones de CO₂ a nivel europeo no está proporcionando señales suficientes para incentivar la innovación necesaria para alcanzar los objetivos marcados en materia energética (Olmos et al., 2011). Esto no es de extrañar, ya que el mercado de emisiones ataca sólo una de las externalidades mencionadas anteriormente, la relacionada con las emisiones de CO₂.

Y, dada la escala y plazos del reto de la descarbonización, tampoco parecen suficientes las medidas de creación de mercado (tipo *demand pull*, como se describe en la sección 1.3.1) recogidas en la Directiva de Renovables. Cada vez parece más necesario el apoyo directo a la innovación desde los organismos públicos vía medidas de tipo de apoyo tecnológico (*technology push*) (EUI, 2012).

Sin embargo, el que sea imprescindible la intervención gubernamental no debe implicar la exclusión del sector privado. Antes al contrario, el sector privado debe ser el agente fundamental del proceso innovador, por sus propias características de emprendimiento, de flexibilidad y de cercanía a la información. La clave es encontrar el balance adecuado para la colaboración público-privada.

Así, se considera habitualmente que en las fases iniciales del proceso de innovación (investigación básica) el papel del sector público como agente directo es mucho más importante, mientras que en las fases más cercanas a la comercialización es el sector privado (dirigido por los incentivos o apoyos del sector público) el que garantiza que la iniciativa tenga sentido.

En cualquier caso, y sea quien sea el agente que desarrolle o financie la actividad de innovación, son necesarias como decíamos antes políticas de apoyo a la innovación que corrijan los fallos de mercado y permitan superar las barreras presentes. En la siguiente sección se presentan con carácter general algunas de las posibilidades para el sector energético.

1.5 Objetivos de este informe

Las conclusiones de esta breve revisión de las razones para promover la innovación en energía, de los obstáculos a los que se enfrenta, y de la diversidad de instrumentos disponibles para los gobiernos, es que el diseño de las políticas de innovación en energía requiere de un diagnóstico cuidadoso, de la evaluación de los resultados potenciales, y de un diseño acertado del marco institucional y de las políticas a utilizar.

El objetivo de este informe es presentar un primer diagnóstico de la situación, evaluar los potenciales beneficios, y proponer algunas direcciones en las que avanzar.

El informe pretende proporcionar una visión lo más completa posible del panorama de innovación en energía en España, interpretando ambos conceptos de forma amplia. Así, se entiende que innovación abarca las fases interrelacionadas de investigación, desarrollo, demostración y comercialización. Por su parte, el sector de la energía también se interpreta de forma amplia abarcando generación y suministro de electricidad, usos térmicos, transporte, etc., si bien es cierto que gran parte de los datos disponibles se centran en tecnologías de generación eléctrica.

Al menos dos informes recientes han analizado también la innovación en energía en España, aunque con un propósito y enfoque diferentes. Por una parte, *El Informe de I+D en energía y automoción* (Fundación General CSIC, 2012) (i) se centra fundamentalmente en el papel de Universidades y centros de investigación, (ii) y analiza publicaciones y patentes como indicadores de los resultados de la I+D. Por otra parte, el informe *Una aproximación al impacto económico de la innovación en el desarrollo del sector empresarial de la energía en España* (Fundación OPTI, 2012) (i) se centra en el papel de las empresas, (ii) y analiza la relación entre los inputs a la innovación en las empresas y sus resultados económicos, y compara indicadores del sector de la energía con la media industrial.

De forma complementaria a estos estudios, el presente informe pretende aportar una visión más amplia y completa del sistema de innovación en energía español (i) analizando el conjunto de sectores implicados (Administración Pública, Universidades, empresas), y sus interacciones, (ii) y recurriendo a un amplio espectro de indicadores que permitan diagnosticar la situación actual e identificar puntos de mejora. El informe se inspira y utiliza en parte las recomendaciones del trabajo realizado por Anadón et al (2011) para EEUU, aunque evidentemente a una escala más reducida y con un alcance menor. Así, el objetivo final es proporcionar recomendaciones fundadas que puedan impulsar la innovación en energía en España.



[0 2]

La innovación en energía en España: diagnóstico de la situación

- 2.1. Políticas e instituciones para la innovación en energía**
- 2.2. Inversión en I+D en energía**
- 2.3. Resultados de innovación en energía**
- 2.4. Efectos socioeconómicos**
- 2.5. Resumen de indicadores**

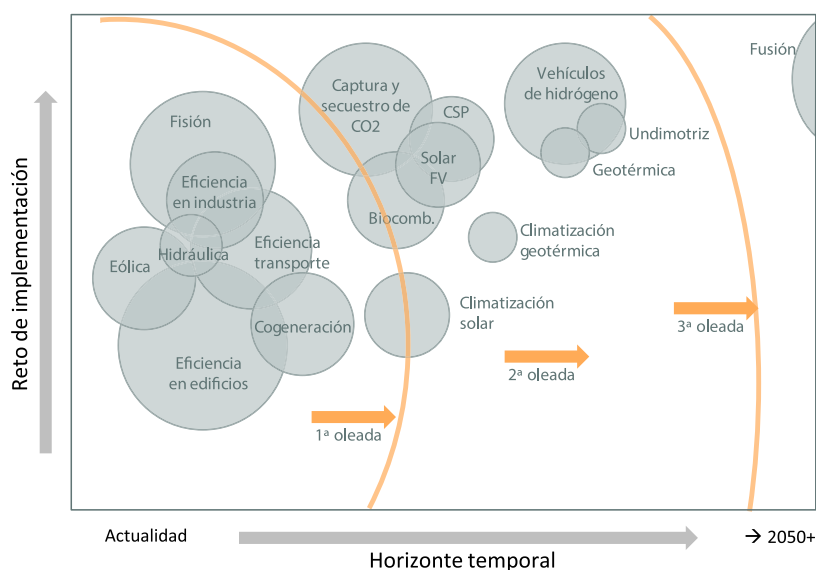
2.1 Políticas e instituciones para la innovación en energía

2.1.1. Marco europeo

El marco europeo es fundamental para entender el contexto en el que se desenvuelve el sistema de innovación en energía en España: Europa establece objetivos en materia energética y marca las líneas prioritarias de actuación, facilita financiación para la I+D mediante convocatorias europeas, establece programas de colaboración y transmisión de conocimiento entre los países miembros, etc.

La Unión Europea ha definido estrategias a medio y largo plazo en materia energética. El *Energy Roadmap 2050* define la estrategia en el horizonte 2050, y establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 80-95% respecto a los niveles de 1990. Además, existe un Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (SET-Plan) en el que se identifican tecnologías energéticas clave para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones a 2050 y se establecen objetivos estratégicos para el desarrollo de dichas tecnologías (Comisión Europea, 2007a; EUI, 2012). La Figura 3 representa la visión de la UE del potencial tecnológico para la reducción de emisiones en el horizonte 2050.

Figura 3: Visión de la UE del potencial tecnológico para la reducción de emisiones en el horizonte 2050



Fuente: (Comisión Europea, 2009a)

Además, la Unión Europea apuesta por la innovación como una de las claves para alcanzar sus objetivos en materia de energía (Comisión Europea, 2009a). Por este motivo, en la política de innovación europea general (sobre la cual puede leerse en el Anexo B) existen líneas de actuación específicas en el ámbito energético. Así, por ejemplo, dentro del Séptimo Programa Marco existe una línea de investigación en energía. De hecho, en España es una de las líneas de investigación más activas, recibiendo en torno a un 7% de la financiación disponible en esta área a nivel europeo dentro del 7PM (Comisión Europea, 2011a). Cabe destacar también la *European Energy Research Alliance* (EERA)¹ para fomentar la colaboración entre centros de investigación europeos con el fin de promover y coordinar esfuerzos en el desarrollo de tecnologías energéticas, y las Plataformas Tecnológicas Europeas² en el área de energía (actualmente hay siete: en biocombustibles, redes inteligentes, eólica, fotovoltaica, captura y almacenamiento de CO₂, nuclear y climatización renovable).

Una iniciativa interesante son las *Knowledge and Innovation Communities* (KIC): asociaciones de empresas, centros de investigación y universidades para fomentar la innovación y el emprendimiento. El *European Institute for Innovation and Technology* (EIT) promueve tres KICs, dos relacionadas de forma directa con la energía (KIC InnoEnergy y Climate-KIC) y una tercera en el campo de las TIC (EIT ICT Labs). KIC InnoEnergy realiza actividades educativas (másteres, doctorados y programas ejecutivos), de innovación (lanzamiento de nuevos productos y servicios tecnológicos y creación de patentes), y de apoyo al emprendimiento (incubación de start-ups), todo en el campo de la energía sostenible. Su estrategia se define en línea con el Plan SET y opera como una empresa (con objetivos concretos en número de estudiantes en sus programas de formación, número de patentes a sacar al mercado, nuevos productos y servicios, y spin-offs y start-ups). De forma similar, Climate-KIC promueve la innovación para avanzar en mitigación y adaptación al cambio climático.

2.1.2. Política española de innovación en energía

En el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 (prorrogado hasta que se apruebe el próximo), se plantea la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático con los objetivos generales de “impulsar la innovación en esta temática en el sector privado; agrupar y coordinar los distintos programas en una estrategia en común; mejorar la transferencia del conocimiento y la excelencia científica, y mejorar la coordinación con los programas europeos y con los programas de las Comunidades Autónomas” (FECYT, 2011).

Estos objetivos han supuesto que los proyectos en materia energética hayan tenido un peso significativo entre los programas e iniciativas de innovación existentes. Así, en 2010, estaban relacionados con la energía 5 de los 70 proyectos CONSOLIDER en marcha (financiación de 21,9 millones de euros), 14 de los 61 proyectos CENIT (financiación de 356 millones de euros), y 15 Proyectos Singulares Estratégicos. Además, existen 16 Instalaciones Técnicas Singulares relacionadas con esta área, y 18 plataformas tecnológicas (por ej.: Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible). El Instituto de Investigación sobre Cambio Climático, creado recientemente en Zaragoza, también pretende convertirse en un referente en este campo (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010a).

Más allá de las políticas específicamente dirigidas a promover la innovación, es conveniente recordar que la innovación en energía también se ve afectada por el marco más general de política energética. En este sentido, cabe señalar por ejemplo que España ha apostado en los últimos años por impulsar las energías renovables, hasta llegar a ser uno de los mayores mercados de energía renovable, quinto a nivel mundial en capacidad instalada, y octavo en inversión total (The Pew Charitable Trusts, 2012). Esta apuesta por la generación renovable se ha visto paralizada, al menos tempo-

1 <http://www.eera-set.eu>

2 http://cordis.europa.eu/technology-platforms/energy_en.html

ralmente, por la reciente “moratoria renovable” (introducida en el Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero). De hecho, según el *Country Attractiveness Index* (Ernst & Young, 2012) que valora lo atractivo que resulta un país para la inversión en energías renovables, hace sólo cinco años España estaba a la cabeza como país más atractivo para la inversión en renovables, pero en este año 2012 no se encuentra si quiera entre los diez primeros.

El caso vasco

El País Vasco está realizando una fuerte apuesta por la innovación, y por la innovación en energía en particular.

Desde Innobasque, la Agencia Vasca de la Innovación, se viene potenciando la creación y fortalecimiento de ecosistemas de innovación haciendo especial énfasis en las alianzas público-privadas, las redes de colaboración y la aplicación industrial de las innovaciones.

En el terreno de la energía, ya en los años 90 se creó la Asociación Clúster de Energía, que integra a los principales agentes del sector: empresas (operadores energéticos, fabricantes de equipos y componentes y empresas de servicios), centros de investigación e innovación, y organismos de la administración pública con responsabilidades en el campo de la energía. También en los años 90 se crearon los centros tecnológicos especializados cuya fusión resultó en el año 2000 en dos grandes grupos, IK4 y Tecnalia, ambos con actividades de investigación e innovación en el área de la energía (Elola et al., 2012).

En los últimos años, en el marco de la Estrategia Energética de Euskadi 2020 (Gobierno Vasco, 2011), y a través del Ente Vasco para la Energía (EVE), el Gobierno Vasco ha promovido la Estrategia Energi-basque, con el objetivo de convertir al País Vasco en un referente mundial en desarrollo tecnológico e industrial en el sector de la energía, y está impulsando los Proyectos Lidera para desarrollar tecnologías consideradas estratégicas, como el vehículo eléctrico o las redes inteligentes.

El sector industrial juega un papel clave en el caso vasco. En el campo de la energía, destaca la actividad innovadora de empresas como Iberdrola, Gamesa, Ormazabal, ZIV, Ingeteam o Arteche (Espiga, 2011). En particular, podemos considerar el sector eólico en el País Vasco como un ejemplo de clúster industrial que ha conseguido alcanzar posiciones muy competitivas a nivel internacional, gracias a la colaboración entre Gamesa (como empresas productora de turbinas eólicas), Iberdrola (como promotora y operadora de parques eólicos) y otros productores locales de componentes eléctricas y electrónicas (Elola et al., 2012).

El ecosistema de innovación vasco se completa con cuatro universidades presentes en la región, diez centros de investigación básica en áreas como la biotecnología y los nanomateriales, y cuatro parques tecnológicos que albergan empresas punteras en tecnologías energéticas (Elola et al., 2012) *we study how globalization impacts on the structure and governance patterns of value chains and on the resilience of local clusters. Algunos ejemplos de centros que desarrollan investigación en energía son el BC3 (Centro Vasco para el Cambio Climático) y Orkestra (Instituto Vasco de Competitividad). Estos esfuerzos a favor de la innovación en energía parecen estar dando su fruto: al analizar el modelo de crecimiento y productividad regional del País Vasco, el sector de la energía aparece como el más competitivo, y muestra unos niveles de productividad de aproximadamente el doble de la media española (Mas y Navarro, 2012).*

2.1.3. Mapa institucional

Sistema de innovación español

Un sistema de innovación puede entenderse como el conjunto de organizaciones tanto públicas como privadas que actúan e interactúan entre sí con el fin de generar y difundir avances en el conocimiento o en nuevas tecnologías (Buesa, 2006). Pueden identificarse cuatro sectores principales en el sistema de innovación: Administración Pública (incluidos los Organismos Públicos de Investigación), Universidades (o Educación Superior), Instituciones Privadas Sin Fines Lucrativos (IPSFL) y empresas.

Para conocer el papel de la Administración Pública en innovación, resulta útil el documento “Investigación, Desarrollo e Innovación en España” (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010a). En él se resumen:

- **marco legislativo** para la ciencia, la tecnología y la innovación.
- organismos implicados en la **gobernanza** de la I+D+i: órganos de decisión, planificación, coordinación y financiación, departamentos ministeriales, gobiernos regionales (consejerías), gobiernos locales (ayuntamientos), y órganos de evaluación.
- **organismos de apoyo** a la I+D+i: organizaciones del sector público (como CDTI, FECYT, y OPTI), Instalaciones Científicas y Tecnológicas Singulares (ICTS), Fundaciones Universidad Empresa (FUE), Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), parques científicos y centros tecnológicos.

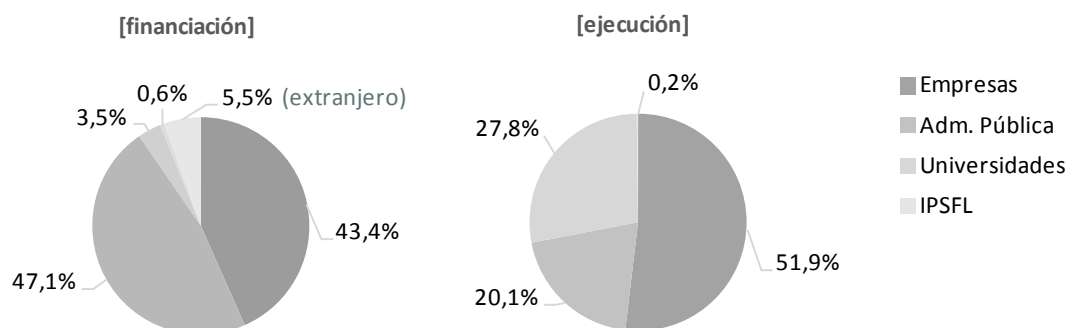
La Administración Pública también tiene una participación directa en la I+D española a través de los Organismos Públicos de Investigación (OPIs), que junto con las Universidades forman el núcleo de investigación básico del sistema público de I+D. Para obtener una lista detallada de las Universidades y OPIs existentes en España (además de institutos de investigación, centros tecnológicos, OTRIs, etc.), puede acudir al “Mapa de instituciones de I+D+i que FECYT-ICONO tiene disponible en su página web³. Entre los OPIs, destacan el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y, en el campo de la energía en particular, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010b).

El peso relativo de los cuatro sectores implicados en el sistema de innovación español tanto como financiadores como en cuanto ejecutores de la I+D puede verse en el Gráfico 1. La mayor fuente de financiación de la I+D en España es la Administración Pública con casi la mitad de la financiación, seguida de cerca por los fondos privados de las empresas que superan el 40% de la financiación (según datos de 2009). Esto contrasta por ejemplo con el caso de Estados Unidos, donde la mayor parte de la financiación de la I+D es privada (en 2009, la contribución privada fue del 62%)⁴. A nivel de ejecución, algo más del 50% del gasto en I+D+i corresponde a actividades en las empresas, cerca del 30% a las Universidades y un 20% a los OPIs y otros centros dependientes de la Administración Pública. De nuevo, esto contrasta con el caso de Estados Unidos, donde existe una mayor proporción de I+D realizada en las empresas (en 2009, un 70% de la I+D se llevó a cabo en las empresas).

3 <http://icono.mapainstituciones.fecyt.es/WebMapaConocimiento/FECYT.MapaDeConocimiento.aspx>

4 Datos de la National Science Foundation: <http://www.nsf.gov/statistics/nsf12321/pdf/tab2.pdf>

Gráfico 1: Reparto del gasto en I+D por sectores de financiación (izq.) y por sectores de ejecución (dcha.) – España, 2009



Fuente: Eurostat

Instituciones para la innovación en energía

La Tabla 2 recoge de forma sintética algunas de las principales instituciones relevantes para la innovación en energía en España.

Tabla 2: Resumen de instituciones para la innovación en energía en España

Ministerios y Secretarías	Ministerio de Economía y Competitividad – Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación Ministerio de Industria, Energía y Turismo
Agencias y otros organismos	CDTI: Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
Organismos Públicos de Investigación	CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
Centros de Investigación	Ej: CENER: Centro Nacional de Energías Renovables
Centros Tecnológicos	Ej: CIDAUT: Centro de Investigación y Desarrollo en Automoción

Fuente: Elaboración propia basada en (Comisión Europea, 2007b)

El Gráfico 2 muestra un mapa en el que se localizan algunos de los principales centros e institutos de investigación en energía de titularidad pública en España. Existen además otros centros de titularidad privada con actividad relevante en el campo de la energía, como pueden ser el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) en Valencia, o el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) en Madrid. Además de los centros de investigación, existen Instituciones Científicas y Tecnológicas Singulares, como el Dispositivo de Fusión Termonuclear TJ-II en Madrid, o la Plataforma Solar de Almería (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010c).

Para conocer con más detalle los centros e instituciones relacionados con la innovación en energía existentes en España, puede consultarse (Fundación General CSIC, 2012), que analiza cuáles son los centros más destacados en varias

líneas de investigación en energía (biomasa y biocombustibles, coche eléctrico e híbrido, pilas de combustible, baterías eléctricas, otros combustibles alternativos, materiales, eficiencia en el transporte, reducción de emisiones y aspectos sociales), en función del volumen de su producción científica en estas líneas.

Gráfico 2: Mapa de centros / institutos de investigación en energía (titularidad pública)



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapa de Instituciones de I+D de Fecyt-Icono

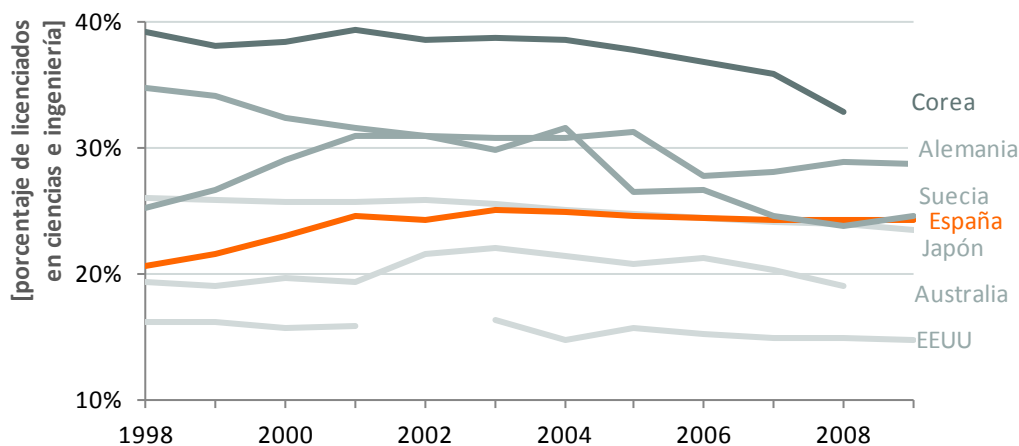
2.1.4. Capital humano y aspectos culturales y sociológicos

Como consideración previa, cabe señalar que los recursos humanos pueden interpretarse igualmente como causa o consecuencia de la innovación: a mayor capacidad científica y tecnológica entre la población, mayores posibilidades de innovación; y con mayores niveles de innovación, es más probable atraer a más personas hacia carreras científicas y tecnológicas, o hacia la investigación. Por este motivo, en esta sección se presentan datos sobre la proporción de investigadores y de científicos e ingenieros en España en comparación con otros países sin tratar de extraer conclusiones definitivas sobre su impacto en la innovación.

También cabe señalar que los procesos de globalización han permitido que el mercado laboral sea cada vez más internacional, facilitando el intercambio de trabajadores entre países, por lo que el capital humano para la innovación no es necesariamente reflejo directo del nivel de educación en el país (un ejemplo claro es Estados Unidos, que a pesar de tener una proporción baja de licenciados en ciencias e ingeniería, atrae a personal altamente cualificado de otros países para participar en sus actividades de innovación). Además, un mayor número de personas en el campo de la investigación, o en ciencias y tecnología, no implica necesariamente mejores resultados de innovación, si no que sería necesario analizar también los niveles de productividad (un ejemplo puede ser China, que cuenta con muchos licenciados en ciencia e ingeniería pero hasta ahora se ha centrado en innovación incremental, y no en innovación disruptiva).

Como puede verse en el Gráfico 3, **el porcentaje de licenciados en ciencias e ingeniería respecto al total de licenciados se ha mantenido prácticamente constante en la última década en España, en torno al 24%**. Este porcentaje es superior al de Estados Unidos (15%), del orden del de países como Suecia, Francia o Japón, y sólo ligeramente inferior al de países como Alemania (27%). Así como para Estados Unidos algunos resaltan la importancia de incidir en la elección de carreras técnicas como impulso a la innovación (Tabarrok, 2011), en España no parece ser este un factor particularmente relevante (al menos en términos cuantitativos, no necesariamente en términos cualitativos: puede ser que los contenidos impartidos en las carreras técnicas en España no sean los más adecuados para innovar).

Gráfico 3: Licenciados en ciencia e ingeniería - porcentaje del total de graduados; Comparación de países 1998-2009

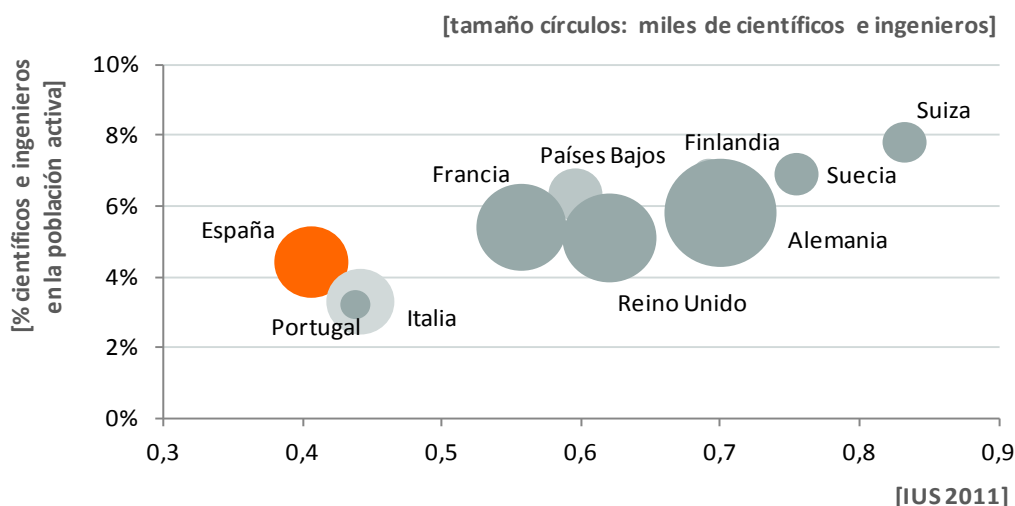


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

A nivel de población activa, **los científicos e ingenieros suponen en España un 4,4% de los trabajadores**, por encima de países como Portugal (3,2%) e Italia (3,3%), y por debajo de países como Alemania (6%), Suecia (7%) o Suiza (8%) (Gráfico 4).

Gráfico 4: Científicos e ingenieros - porcentaje de población activa y número total; Comparación de países 2010

(IUS 2011 en el eje horizontal como referencia de valoración de la innovación en los países)



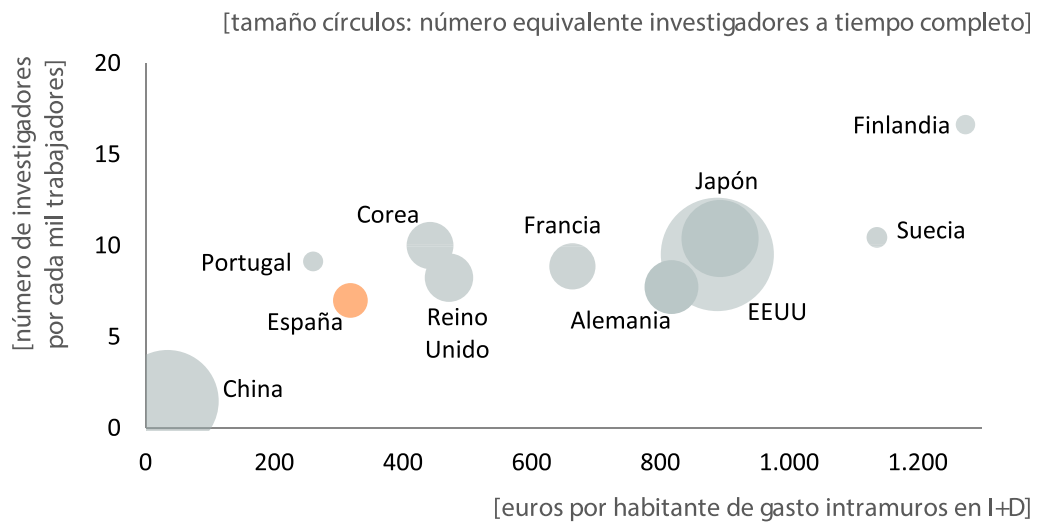
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat e INNO-metrics

En cuanto al número de personas dedicadas a la investigación, **en España hay del orden de 134.000 investigadores** (total equivalente a tiempo completo), **o unos siete investigadores por cada mil trabajadores**. En la mayoría de los países de referencia, la proporción de investigadores por cada mil trabajadores es superior: del orden de

ocho para países como Alemania o Reino Unido, del orden de nueve para países como Francia, del orden de diez para países como Japón, Estados Unidos o Suecia, y hasta del orden de diecisiete para Finlandia (Gráfico 5).

Gráfico 5: Investigadores – por cada mil trabajadores y total equivalente a tiempo completo, 2009

(gasto intramuros en I+D por habitante en el eje horizontal como referencia)

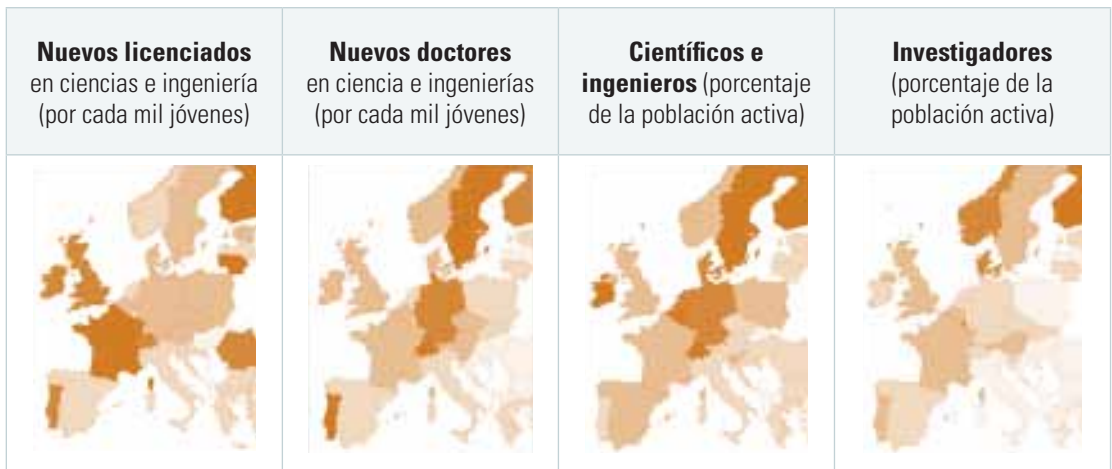


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD y Eurostat

El Gráfico 6 resume la situación del capital humano en España en comparación con otros países europeos, utilizando mapas de la Unión Europea que reflejan mediante una escala de colores la proporción de nuevos licenciados y doctores en ciencias e ingeniería, y el porcentaje de científicos e ingenieros y de investigadores en la población activa.

Gráfico 6: Mapas que reflejan capital humano en ciencias e ingeniería y en investigación; UE 2008

[escala de color: más oscuro implica mayor valor cuantitativo]



Fuente: (Comisión Europea, 2011b)

Dejando atrás los aspectos cuantitativos del capital humano para la innovación que acabamos de analizar, resulta interesante analizar características cualitativas relacionadas con la cultura científica y emprendedora del país. En cuanto a cultura científica, **España**

parece estar entre los países europeos con menor nivel de cercanía y conocimiento científico, aunque se observa un proceso de convergencia en los grupos más jóvenes respecto a sus homólogos del resto de Europa (Fundación BBVA, 2012).

Para comprender las percepciones sobre el emprendimiento y la actitud emprendedora de la población, resulta útil el estudio que *Global Entrepreneurship Monitor* realiza de forma anual. Según las encuestas realizadas en 2010, y como se refleja en el Gráfico 7, la percepción de oportunidades de emprendimiento es especialmente baja en España en comparación con otros países (sólo el 19% percibe buenas oportunidades para la creación de una empresa). También destacan por ser comparativamente bajos la percepción del estatus social de emprendedor con éxito y la cobertura que los medios de comunicación hacen de noticias relacionadas con el emprendimiento. En cambio, destacan por ser comparativamente altos la percepción de la carrera emprendedora como opción profesional y el auto reconocimiento de habilidades y capacidad para emprender (Hernández et al., 2012).

Gráfico 7: Percepciones sobre el emprendimiento y actitudes emprendedoras

[escala de color: para cada fila, comparando entre países, tonos más naranjas indican posicionamiento más favorable hacia el emprendimiento. Los valores numéricos representan porcentajes sobre la población adulta, según indicadores definidos por Global Entrepreneurship Monitor]

	España	Alemania	Israel	Francia	Finlandia	EEUU	Suecia
Temor al fracaso	36	34	47	40	29	28	29
Intención de emprender	5,8	6,4	13,5	14,2	5,9	7,3	8,5
Opción profesional	65	53	60	65	46	65	57
Cobertura en los medios	41	49	53	45	71	68	61
Estatus social	63	77	73	68	87	76	72
Oportunidades	19	28	34	34	51	35	66
Habilidades	50	42	40	37	40	60	42

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Global Entrepreneurship Monitor en 2010 (GEM, 2012)

2.2

Inversión en I+D en energía

2.2.1. Origen de las inversiones

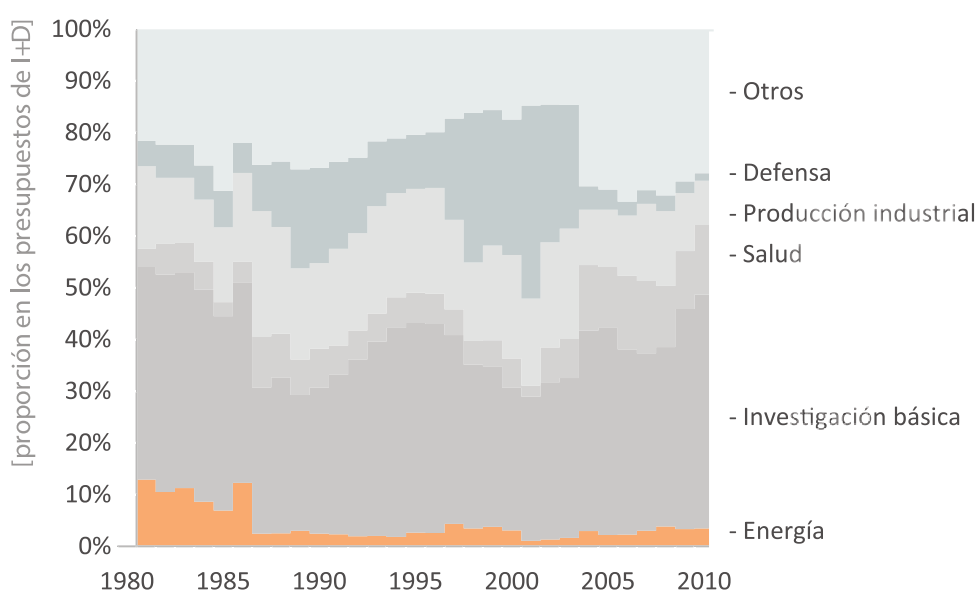
Peso de la energía en la inversión pública en I+D

La I+D en energía representó en 2010 un 3,5% del total del presupuesto público en I+D. En el Gráfico 8 puede verse cómo es el reparto del presupuesto público de I+D por áreas de investigación, según datos de 2010. Se observa que casi la mitad del presupuesto se destina a investigación básica (45%). Destacan a continuación las áreas de salud, infraestructura (incluyendo transporte y comunicaciones), producción industrial y tecnología, y agricultura (con pesos que van desde el 14% al 7%).

Gráfico 8: Presupuesto público de I+D por áreas de investigación, España 2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

El peso relativo de la I+D en energía en el total del presupuesto público de I+D ha variado entre el 12% y el 1% en el periodo 1981-2010. El Gráfico 9 representa esta evolución, mostrando el peso del área de energía y otras áreas de I+D en el conjunto del presupuesto: puede apreciarse que se produce una fuerte caída a partir de la segunda mitad de los 80 (pasando de niveles del 12% a niveles del 2%-3%), se alcanza un mínimo en el comienzo del milenio (en torno al 1%), y se recupera a niveles cercanos al 4% en los últimos años.

Gráfico 9: Peso de la energía en el presupuesto público de I+D frente a otras áreas de investigación, España 1981-2010

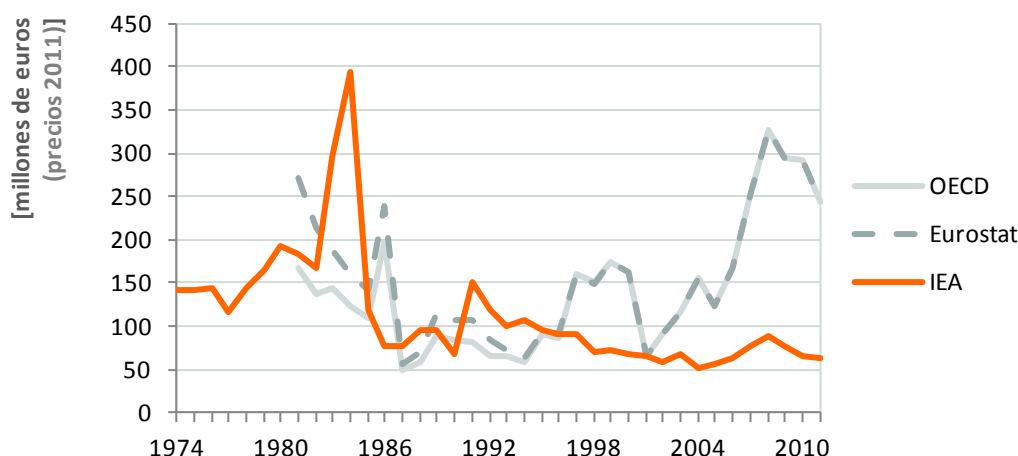
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

Volumen de inversión pública

A la hora de analizar la inversión pública en I+D en energía, llaman la atención las diferencias entre fuentes de datos IEA y OECD/Eurostat, especialmente en los datos recogidos en la última década. Esto se pone de manifiesto en el Gráfico 10, que muestra la trayectoria del presupuesto público en I+D en energía para España en el periodo 1974-2011 (en millones de euros ajustados a precios de 2011).

Esta disparidad podría deberse en parte a diferencias en los conceptos que se contabilizan como I+D en energía (por la dificultad de acotar tanto el sector de la energía como las actividades que constituyen I+D). Además de esta limitación general que afecta a todos los datos de inversión en I+D en energía, existen al menos tres factores más concretos que podrían explicar las diferencias entre los datos de IEA y OECD/Eurostat: inclusión/exclusión de la fase de demostración, fase del presupuesto considerada (presupuesto propuesto, aprobado o ejecutado), e inclusión/exclusión de créditos reembolsables. Estos tres factores se explican con más detalle en el Anexo C.

Gráfico 10: Presupuesto público en I+D en energía, España 1974-2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA, OECD y Eurostat

En cualquier caso, ambas fuente de datos (IEA y Eurostat/OECD) reflejadas en el Gráfico 10 coinciden en mostrar un descenso significativo de la inversión desde 2008. **En la última década, se alcanzó un máximo del presupuesto público en I+D en energía en el año 2008 y desde entonces se ha reducido: el presupuesto de 2011 fue del orden del 27% inferior al de 2008.**

El volumen total de inversión pública en I+D en 2011 fue de 242 millones de euros en 2011 (según datos de Eurostat), y de 64 millones de euros (según IEA). Si tomamos 242 millones de euros como referencia, esta cantidad representa aproximadamente un 0,8% del coste anual del sistema eléctrico⁵, y un 0,6% del gasto anual en gasolinas y gasóleos por parte de los consumidores⁶ (si tomásemos el dato de IEA 64 millones de euros, la inversión en I+D supondría un porcentaje todavía inferior de los costes energéticos).

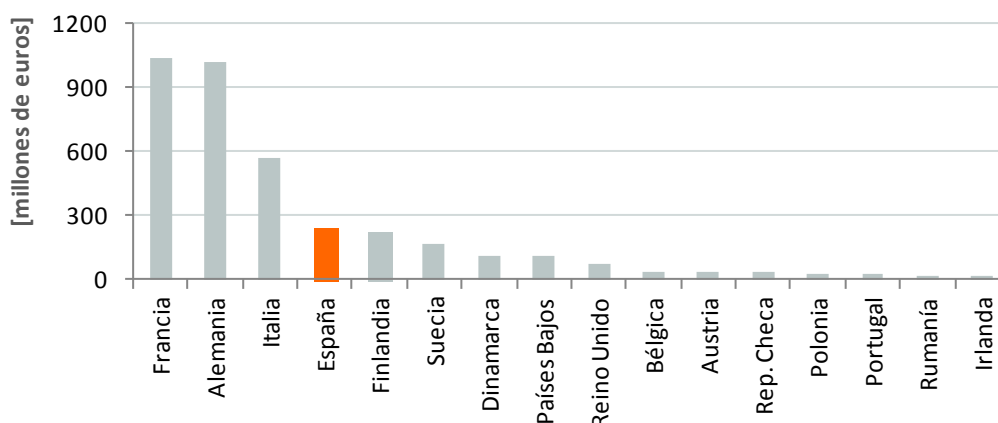
5 El coste anual del sistema eléctrico puede estimarse como la suma del coste de las actividades reguladas (aproximadamente 17.500 M€ en 2010, según datos de la Comisión Nacional de la Energía (CNE, 2012)) y el coste de la energía en el mercado (aproximadamente 12.000 M€, resultado de multiplicar el precio medio de 45,82 €/MWh por la demanda total de 260 TWh en 2010, según datos de Red Eléctrica (REE, 2012)). El coste anual estimado para el sistema eléctrico resulta en 29.500 M€. Como referencia adicional, según datos del Ministerio, la cifra de negocios de la actividad eléctrica ascendió en 2010 a 23.169 M€ (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011).

6 El gasto anual en gasolina se ha estimado a partir del precio medio de la gasolina (116,3 c€/l) y el consumo anual de gasolina en España en 2010 (5.421 miles de toneladas) (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011), utilizando una densidad de 0,75 kg/l para ajustar las unidades. El procedimiento es el mismo para el gasóleo, con un precio medio de 107,5 c€/l, un consumo anual de 23.867 miles de toneladas,



Los siguientes gráficos nos ayudan a entender lo que representa el volumen de inversión pública en I+D de España en el contexto internacional. El Gráfico 11 muestra el presupuesto público en I+D en energía en países de la Unión Europea en el año 2011 según datos de Eurostat. Según este gráfico, en volumen absoluto de inversión, España ocupa una posición destacada en la Unión Europea (aunque, como veremos más adelante, cuando se considera la inversión per cápita pasa a ocupar posiciones rezagadas).

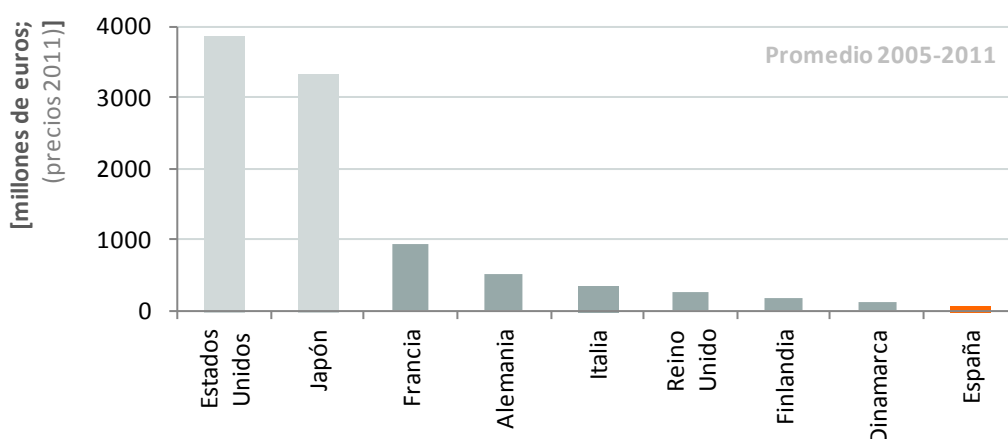
Gráfico 11: Presupuesto público en I+D en energía, países de la Unión Europea 2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

El Gráfico 12 es similar al Gráfico 11 (también representa el volumen de presupuesto público en I+D en energía para varios países), pero incluye Estados Unidos y Japón además de otros países europeos, presenta el nivel promedio en el periodo 2005-2011, y corresponde a datos de IEA. Según este gráfico, la contribución española a la inversión pública en I+D en energía a nivel mundial es muy modesta, especialmente si se compara con el volumen de inversión de países como Estados Unidos y Japón.

Gráfico 12: Presupuesto público en I+D en energía, varios países 2005-2011



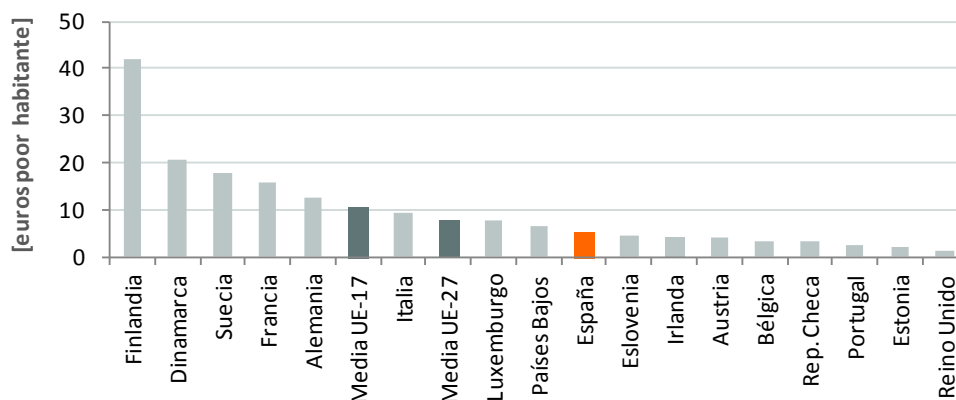
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA

►► y una densidad de 0,83 kg/l. El gasto anual estimado en gasolinas y gasóleos es de 39.244 M€. Nótese que se han utilizado precios finales al consumidor, incluyendo impuestos, por lo que refleja el gasto de los consumidores y no del país.

Inversión pública por habitante

El nivel de inversión en I+D en energía por habitante está en España por debajo de la media de la Unión Europea (tanto UE-17 como UE-27). Según datos de Eurostat, en 2011, fue del orden de la mitad de la media de UE-17, y del 13% de Finlandia (país a la cabeza en este ranking). La comparación del presupuesto público per cápita en I+D en energía entre países de la UE en el año 2011 puede verse en el Gráfico 13.

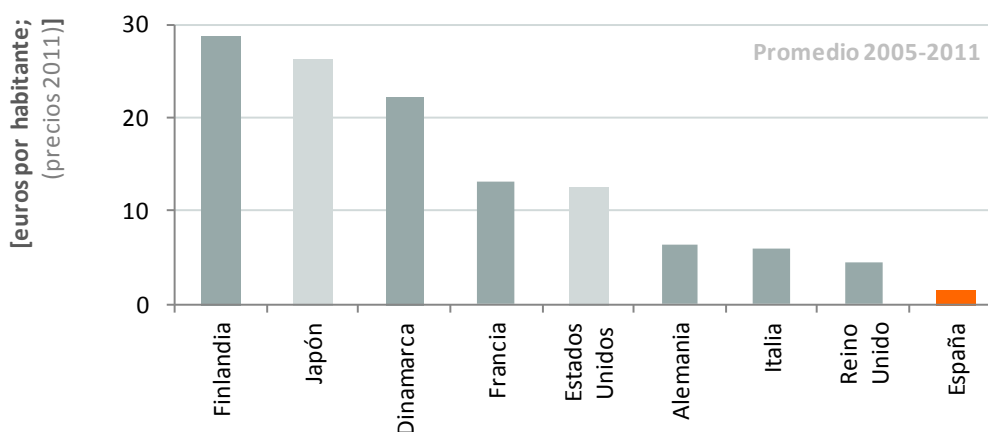
Gráfico 13: Presupuesto público en I+D en energía per cápita, países de la Unión Europea 2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

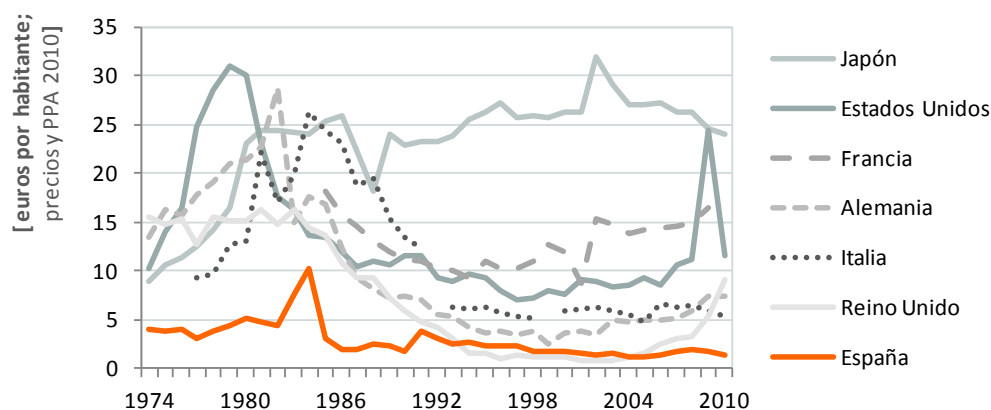
En un contexto internacional más amplio, la inversión pública por habitante en España representa sólo el 12% de la de Estados Unidos y el 6% de la de Japón, según datos de IEA representados en el Gráfico 14.

Gráfico 14: Presupuesto público en I+D en energía per cápita, varios países 2005-2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA

En el panorama internacional, los niveles de inversión pública per cápita en I+D en energía de España representan aproximadamente el 10% de los de Japón o el 20% de los de Estados Unidos. El Gráfico 15 muestra la evolución del presupuesto en I+D en energía para España y otros países en el periodo 1974-2010. Entre los países comparados, España es el país con menores niveles de inversión per cápita (sólo el Reino Unido alcanza valores inferiores en algunos años de la década de los 90).

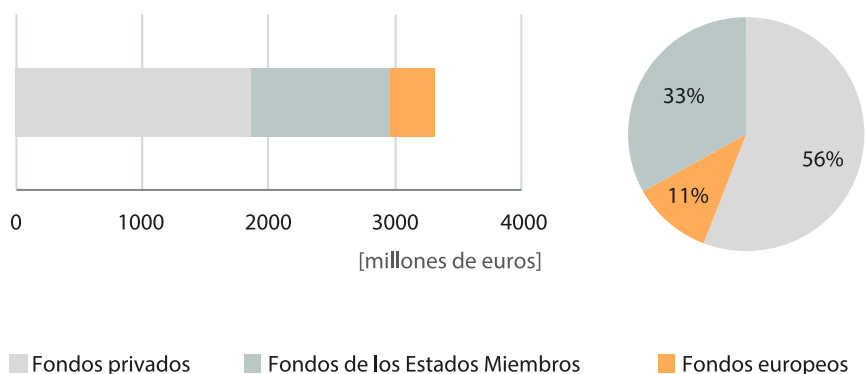
Gráfico 15: Presupuesto público en I+D en energía per cápita, varios países 1974-2010

Fuente: Elaboración propia a partir de IEA Data Services

Fondos europeos

España es uno de los países que más financiación europea recibe para I+D en energía. En el VII Programa Marco de la Unión Europea, según una evaluación del periodo 2007-2010 (CDTI, 2011), España recibió en este periodo el 12,5% de la financiación de I+D en el área de energía (104 M€, sólo por detrás de Alemania).

Un 11% de la inversión en I+D en tecnologías energéticas del Plan SET proviene de fondos europeos. En el conjunto de la Unión Europea, en 2007 se invirtieron en tecnologías energéticas del plan SET un total de 3.300 millones de Euros (Gnamus, 2011), el origen de los cuales se reparte como refleja el Gráfico 16: un 11% provino de fondos europeos, un 33% de los Estados Miembros y un 56% del sector privado.

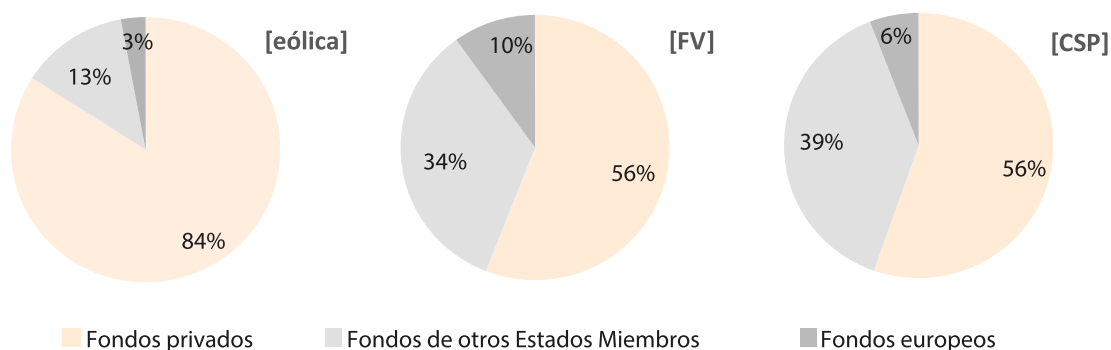
Gráfico 16: Estimación del reparto de la inversión en I+D en las tecnologías energéticas del Plan SET por sector de origen de los fondos, Europa 2007

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Comisión Europea, 2009a)

Inversión privada

El peso de la inversión privada en la I+D a nivel europeo es muy significativo: como acabamos de ver, en 2007 supuso más de la mitad de la inversión en I+D en tecnologías del plan SET. Cabe señalar que el peso de la inversión privada en la I+D varía según la tecnología considerada: como refleja el Gráfico 17 y como parece razonable, la financiación privada tiene más peso en la tecnología relativamente más madura (la eólica, respecto a la solar).

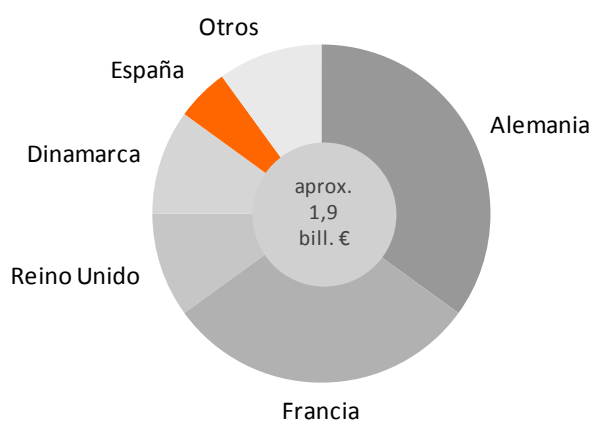
Gráfico 17: Origen de la inversión para tecnologías eólica, fotovoltaica y solar térmica de concentración, Europa 2008



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Gnamus, 2011)

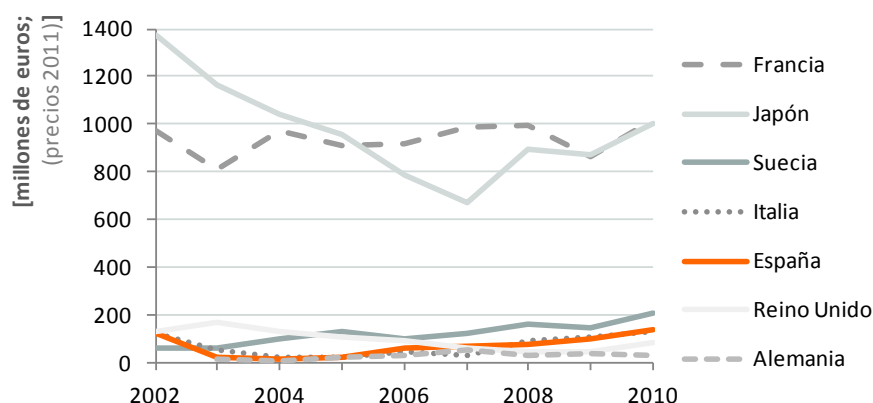
Sin embargo, a nivel de España, la contribución de la inversión privada a la I+D parece ser mucho menor. Según se representa en el Gráfico 18 con datos de 2007, la contribución de las empresas españolas al total de inversión corporativa europea en I+D en energía es de aproximadamente el 5%.

Gráfico 18: Distribución indicativa de la inversión en I+D corporativa por países en tecnologías energéticas del plan SET; países de la Unión Europea, 2007



Fuente: JRC-IPTS (Comisión Europea, 2009b)

Analizando las empresas de generación eléctrica en particular, los niveles de inversión en I+D de las empresas españolas son ligeramente superiores a los de Reino Unido o Alemania, pero están muy por debajo de países como Francia o Japón (los altos niveles de inversión en Francia y Japón están asociados en gran parte a las tecnologías nucleares). El Gráfico 19 muestra la evolución de la inversión en I+D por parte de empresas de generación eléctrica en el periodo 2002-2010 para varios países europeos, incluido España, y Japón.

Gráfico 19: Inversión en I+D en empresas de generación eléctrica; varios países, 2002-2010

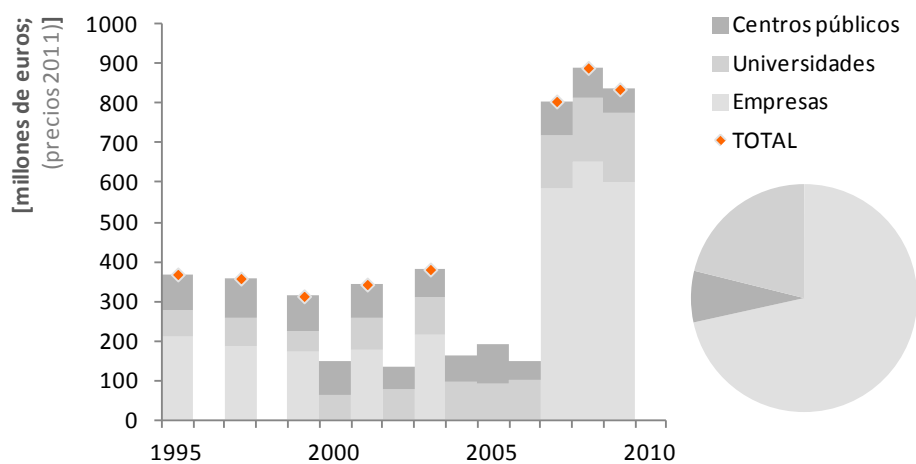
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat (*EU Industrial R&D Investment Scoreboard*)

A nivel global, la inversión privada en I+D en el sector emergente de energías alternativas ha crecido significativamente en los últimos años, aunque no parece que las empresas españolas hayan contribuido significativamente a este aumento. En el ranking de las quince empresas del sector que más aumentaron su inversión en el año 2010 respecto al año anterior no figura ninguna empresa española (JRC, 2011), posiblemente por efecto de la “moratoria renovable” (introducida en el Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero), ya mencionada anteriormente. Estas quince empresas destacadas invirtieron en 2010 unos 820 millones de euros en I+D, incrementando su inversión un 29% respecto al año anterior (sus ventas también se incrementaron, un 23%).

2.2.2. Destino de las inversiones

Sectores de ejecución de la I+D

Del gasto total en I+D en energía en España en 2009, un 72% se ejecutó en las empresas, un 21% en universidades y un 7% en centros de investigación públicos. El Gráfico 20 muestra como se ha repartido el gasto en I+D en energía por sectores de ejecución en el periodo 1995-2009.

Gráfico 20: Gasto en I+D en energía por sectores de ejecución, España 1995-2009

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD y Eurostat

A continuación, en la Tabla 3, se recogen las empresas, Universidades y centros de investigación que más financiación han recibido para I+D en energía en el 7PM de la Unión Europea.

Tabla 3: Entidades destacadas receptoras de financiación para I+D en energía en el 7PM
(en orden descendiente de financiación obtenida en el periodo 2007-2010)

	Nº actividades	Lideradas
Abengoa Bioenergía Nuevas Tecnologías, S.A.	3	1
Novatec Solar España, S.L.	1	0
Red Eléctrica Corporación S.A.	3	1
Fundación Tecnalia Research and Innovation	10	0
Iberdrola S.A.	1	0
Universidad Pontificia Comillas	7	0
Acciona Energía, S.A.	4	2
Abengoa Solar New Technologies, S.A.	1	1
Asea Brown Boveri, S.A.	1	0
Vivienda y Suelo de Euskadi	1	0

Fuente: (CDTI, 2011)

Actividad de I+D en las empresas

El porcentaje de empresas en el sector de la energía con actividad de I+D es mayor que en otros sectores, pero sin embargo los recursos que dedican a la I+D están por debajo de la media industrial. Esta es una de las conclusiones que pueden extraerse de la *Encuesta sobre Innovación en las Empresas* publicada por el INE. La Tabla 4 muestra un resumen de los principales indicadores de la actividad de I+D en empresas del sector de la energía, como son el número de investigadores contratados o los gastos en I+D interna y externa, según los resultados de esta encuesta para el año 2010.

Tabla 4: Indicadores de la actividad de I+D en empresas del sector de la energía; España 2010

	Industrias del petróleo	Material y equipo eléctrico	Energía y agua	TOTAL energía
Número de empresas que realizan I+D	5	291	88	384
Personal total dedicado a I+D (EJC)	459	2849	855	4.163
Gastos en I+D interna (miles de euros)	59.874	205.505	140.200	405.579
Compra de servicios en I+D externa (miles de euros)	6.958	39.355	79.838	126.151
Porcentaje de gastos en I+D del total de gastos de innovación	65%	73%	77%	

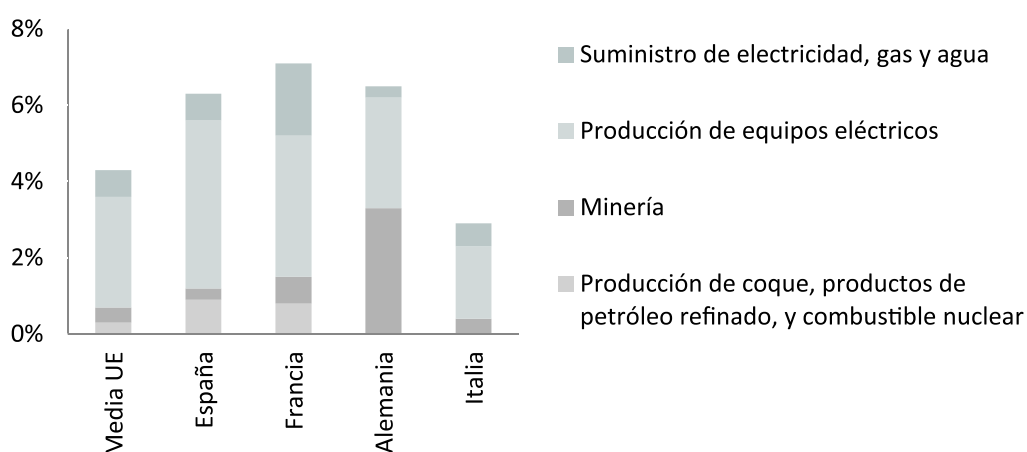
Fuente: INE, Encuesta sobre Innovación en las Empresas 2010

Analizando la evolución en los últimos años de los resultados de esta encuesta, puede verse como los recursos totales dedicados a la innovación se han mantenido aproximadamente constantes, y como se ha producido una ligera pero progresiva sustitución de fondos propios por fondos públicos. Se aprecia también una tendencia a sustituir gastos en

I+D interna por gastos en I+D externa. Ambas tendencias pueden ser reflejo de una evolución hacia un modelo de innovación más abierto (Fundación OPTI, 2012).

Las empresas tradicionales del sector energético como las grandes eléctricas o las petroleras y gasistas no parecen jugar un papel predominante en la I+D en energía, siendo muy relevante en cambio el papel de empresas de suministro de componentes, de la industria de fabricación de equipos eléctricos y de empresas especializadas en energía alternativa (Comisión Europea, 2009b). El Gráfico 21 ilustra este hecho, mostrando el peso de las empresas del sector energético en el total del gasto en I+D en las empresas para varios países europeos, incluido España. En España destaca especialmente la contribución de las empresas fabricantes de equipos eléctricos (lo cual se reflejaba también en los datos de la Tabla 4).

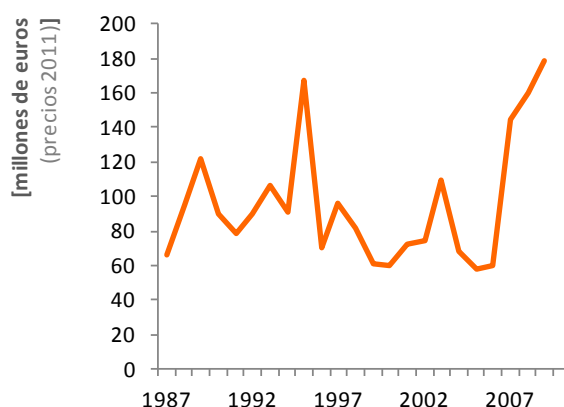
Gráfico 21: Participación de las empresas del sector energético al total del gasto de I+D en empresas, España y varios países UE 2005

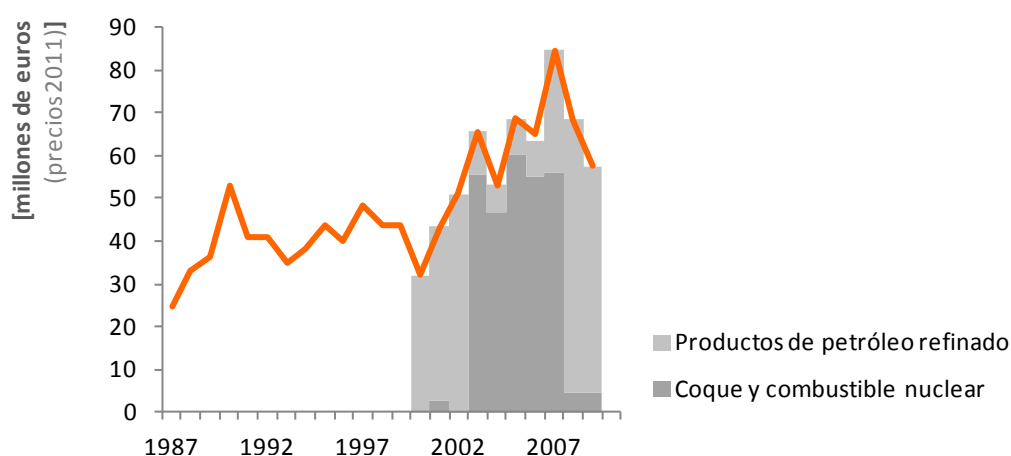
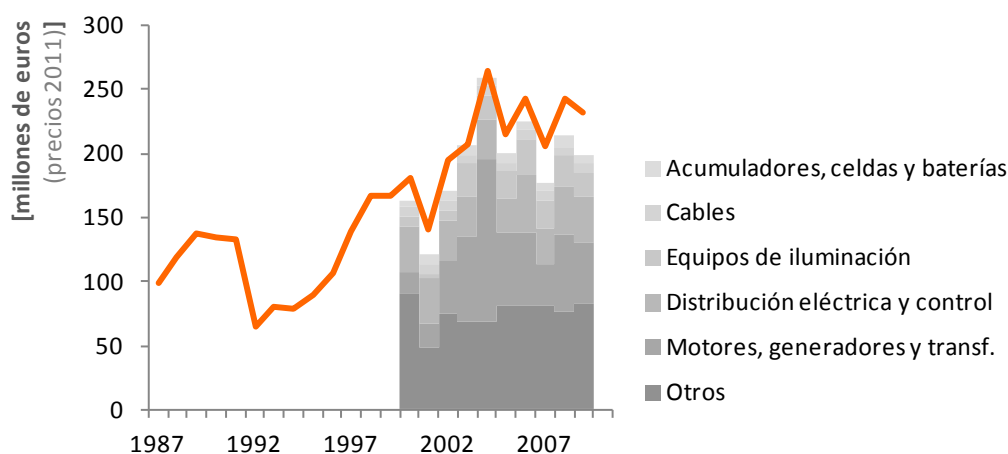
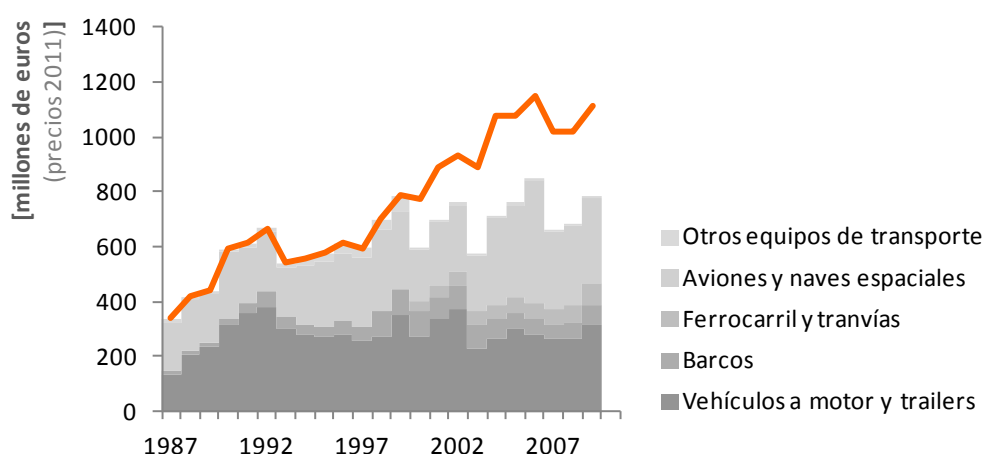


Fuente: Elaboración propia a partir de datos en (Comisión Europea, 2007b), basados en Eurostat - BERD

Para tratar de profundizar en la evolución del gasto en I+D en las empresas del sector de la energía en España, y en cómo se reparte dicho gasto por tipos de tecnologías, el Gráfico 22 ilustra el gasto en I+D en cuatro categorías de empresas en el periodo 1984-2009.

Gráfico 22: Gasto en I+D en cuatro grupos de empresas relacionadas con la energía, España 1987-2009
Empresas de suministro de electricidad, gas y agua:



Empresas de producción de coque, petróleo refinado y combustible nuclear:**Empresas de fabricación de equipos y material eléctrico:****Empresas de fabricación de vehículos y equipos de transporte:**Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD (base de datos BERD y ANBERD⁷)

7 BERD: base de datos "Business Enterprise Research and Development" de OECD.

ANBERD: base de datos "ANalytical Business Enterprise Research and Development" de OECD. ANBERD adapta los datos de BERD según estimaciones de la OECD con el propósito de mejorar la comparabilidad de datos entre países.

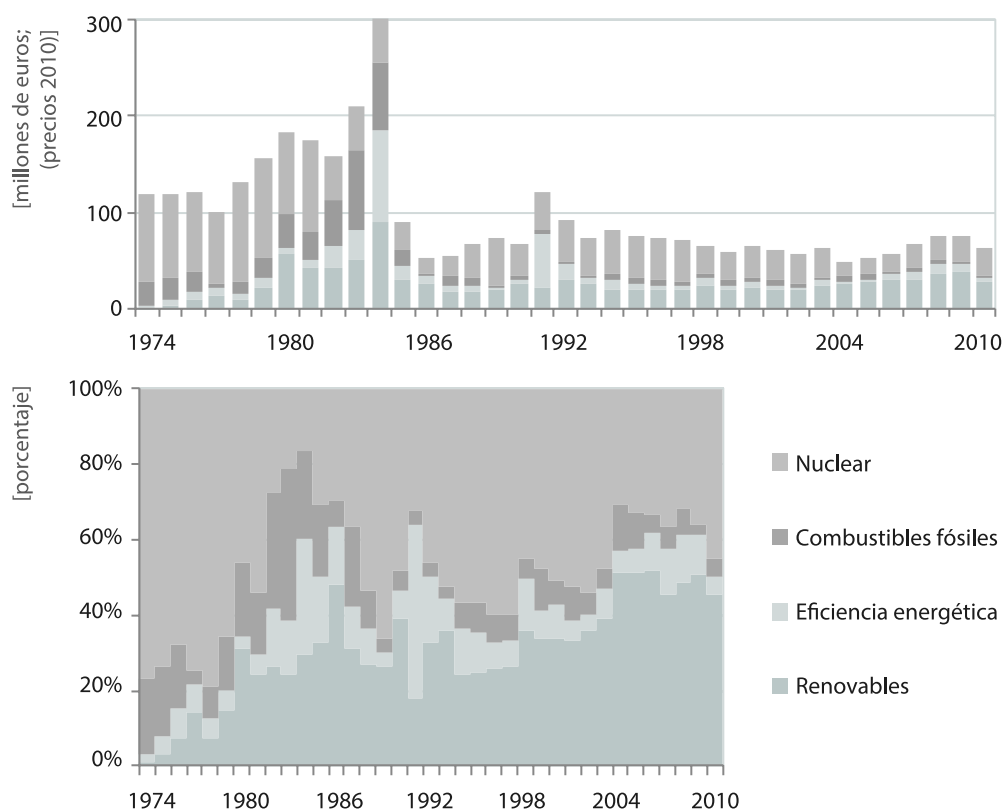
En los gráficos, la línea corresponde al gasto en I+D total estimado según ANBERD, y el reparto del gasto por tecnologías corresponde a datos de BERD.

Reparto de la inversión por tecnologías

Del mismo modo que el apoyo a la innovación en energía se ha venido centrando mucho más en tecnologías generadoras que en tecnologías de uso final (Wilson et al., 2012), los datos de inversión en I+D por tecnologías también reflejan un predominio de las tecnologías generadoras sobre las tecnologías de uso final.

Analizando el reparto del presupuesto público español en I+D en energía por grupos de tecnologías, representado en el Gráfico 23, puede verse como la inversión en nuclear predomina sobre el resto en los años 70 y en el periodo 1987-2003. La inversión en renovables va ganando peso con el paso de los años, hasta que a partir de 2004 la inversión destinada a este grupo de tecnologías representa más de la mitad de la inversión. La inversión en combustibles fósiles inferior al 20% excepto en algunos años de los 80. La inversión en eficiencia energética se ha mantenido fluctuante, la mayoría de años por debajo del 10%, pero con repuntes puntuales, especialmente en 1991 cuando alcanza el 46% de la inversión.

Gráfico 23: Reparto del presupuesto público en I+D entre cuatro grupos de tecnologías energéticas, España 1974-2010



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA Data Services

Para hacernos una idea de temas concretos de investigación en energía que están recibiendo financiación pública, la Tabla 5 recoge los temas que han recibido financiación en la convocatoria 2010 de la “Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático”:

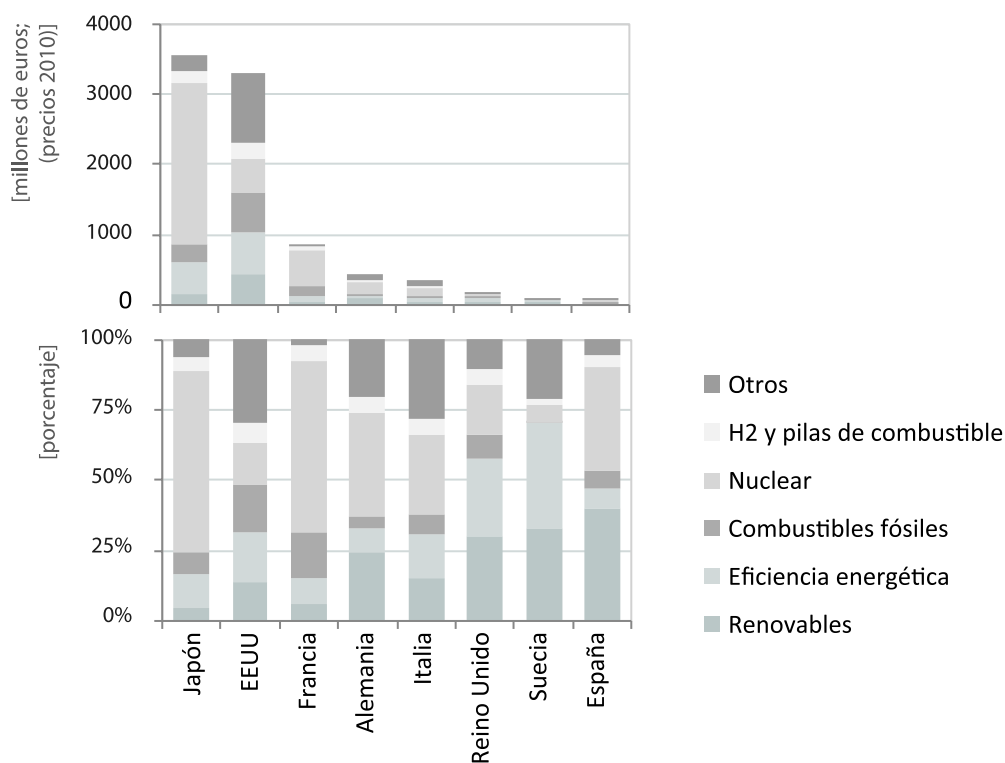
Tabla 5: Temas que han recibido financiación en la convocatoria 2010 de la “Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático”

Tecnología	Ejemplos de proyectos en “Acción Estratégica en Cambio Climático”
Eólica	Desarrollo de aerogeneradores de alta potencia Optimización operativa, tanto onshore como offshore Nuevas configuraciones de aerogeneradores de baja potencia Sistemas de control Monitorización y mantenimiento de parques eólicos Equipos para fabricación, inspección y mantenimiento de aerogeneradores
Solar termoeléctrica	Desarrollo de sistemas híbridos (discos Stirling y geotermia) Centrales de torre de baja potencia con receptor solar con aire como fluido Desarrollo de componentes (tubos receptores, concentradores, estructuras portantes) Sistemas de control, monitorización y simulación de centrales termoeléctricas
Solar fotovoltaica	Optimización de procesos de fabricación de células solares de alta eficiencia Sistemas de concentración óptica o con parábolas reflectivas
Maremotriz	Integración de generadores eléctricos en boyas flotantes (tecnología undimotriz)
Combustión limpia	Motores térmicos con combustibles alternativos y de alta eficiencia Equipos generadores de baja potencia alimentados con pilas de H ₂ Procesos de captura de CO ₂ aplicables en centrales térmicas convencionales Procesos de captura de CO ₂ procedente de gases de oxi-combustión
Almacenamiento energético	Desarrollo de acumuladores para instalaciones de renovables de baja y media potencia: baterías ión-litio, tanques de sales, etc.
Biocombustibles	Optimización de la obtención del biodiésel partiendo de aceites Optimización de procesos de refinado para obtención de biodiésel aditivado Optimización para la obtención de H ₂ partiendo de gasificación de biomasa Aprovechamiento de la biomasa en procesos bioenergéticos y de cogeneración Tratamiento de biomasa para trituración selectiva
Movilidad sostenible	Desarrollo de vehículos integrando sistemas de generación eléctrica renovable (bicicletas, automóviles, vehículos de servicio y especiales) Sistemas de recarga inteligente de vehículos eléctricos Eficiencia energética en sector ferroviario (equipos de control y monitorización energética, equipos de transmisión, etc.)
Edificación sostenible	Equipos de climatización de alta eficiencia energética Integración de energías renovables: cubiertas solares, sistemas geotérmicos, etc. Equipos de climatización basados en enfriamiento evaporativo

Fuente: (FECYT, 2011)

En comparación con otros países de referencia, en España el peso de las tecnologías de energías renovables en la inversión pública en I+D es especialmente significativo: en el periodo 2000-2010 supusieron un 40% de la inversión pública en I+D en tecnologías energéticas de media, mientras que por ejemplo en Alemania fue del 24% y en Estados Unidos del 14%. En términos absolutos, en cambio, la inversión española está por debajo de la mayoría de países de referencia. Estos puntos se reflejan en el Gráfico 24, que representa el reparto de la inversión pública en I+D en energía por tecnologías, tanto en volumen de inversión como en porcentaje de cada tecnología sobre el total de la inversión de cada país.

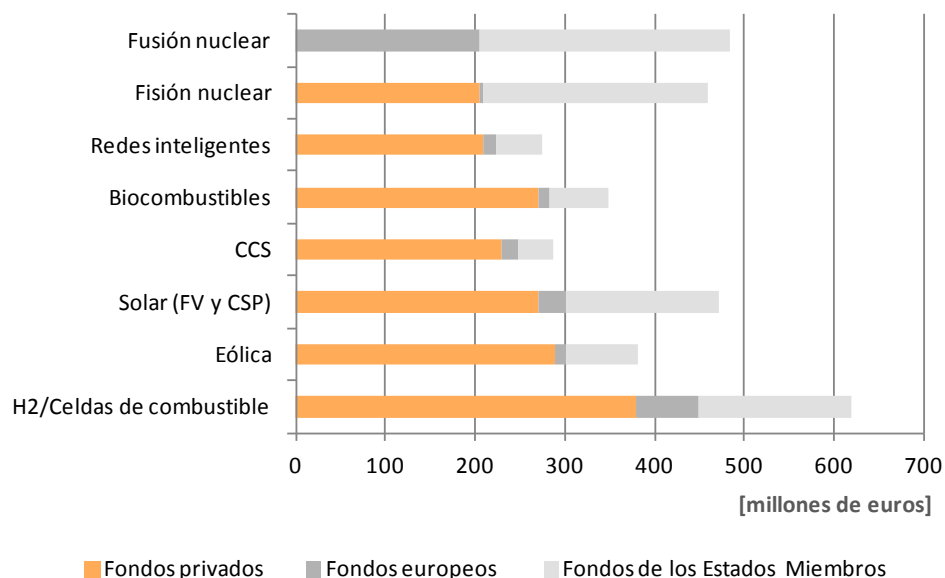
Gráfico 24: Reparto de la inversión pública en I+D por grupos de tecnologías energéticas; Comparativa de países, media anual en el periodo 2000-2010



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IEA *Data Services*

Más allá de la inversión pública, los datos de inversión en I+D en las tecnologías del Plan SET pueden darnos una idea de cómo se reparte la inversión privada por tecnologías energéticas a nivel europeo. Como puede verse en el Gráfico 25, el hidrógeno y las celdas de combustible destaca como el grupo tecnológico que más inversión privada en I+D recibe (con un total de 380 millones de euros, según datos de 2007 para el conjunto de la Unión Europea). Las tecnologías eólica, solar y de biocombustibles forman el segundo grupo por nivel de inversión privada (en el rango 270-290 millones de euros). El tercer grupo estaría formado por la fisión nuclear, las redes inteligentes y la captura y secuestro del CO₂ (en el rango de 205-230 millones de euros).

Gráfico 25: Estimación de la inversión en I+D en las tecnologías prioritarias del Plan SET por sector de origen de los fondos (datos de 2007)

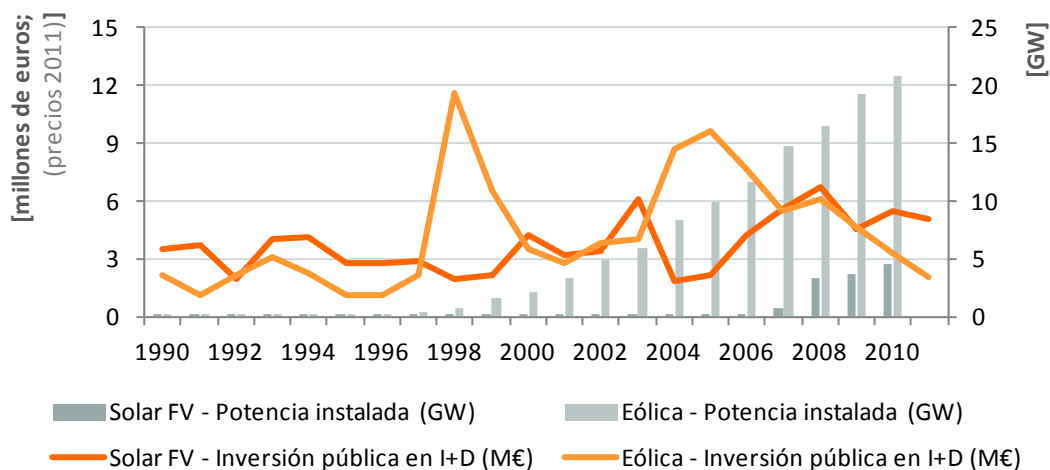


Datos: (Comisión Europea, 2009a)

Tecnologías eólica y solar

Las tecnologías eólica y solar fotovoltaica han tenido una expansión muy significativa en la última década en España, habiendo alcanzando en 2011 21 GW y 4 GW de potencia instalada respectivamente. El Gráfico 26 muestra la inversión pública en I+D en eólica y fotovoltaica en el periodo 1990-2011, acompañada de la evolución de la potencia instalada en estas tecnologías. Puede verse como los niveles de inversión pública en I+D para la eólica han sido mucho más irregulares que para la solar. Así, mientras en algunas etapas la inversión en eólica ha sido significativamente superior, en el último año registrado (2011) ha caído a niveles del orden de la mitad de la inversión en fotovoltaica.

Gráfico 26: Inversión pública en I+D y potencia instalada en tecnologías eólica y fotovoltaica, España 1990-2011



Fuente: Elaboración propia basada en datos de IEA (inversión I+D) y Eurostat (potencia instalada)

En los sectores eólico y solar, la intensidad en I+D (entendida como el porcentaje de las ventas que se destina a I+D) **es del orden del 2-4% , a nivel mundial** (Hernández y Tübke, 2011). Esto representa un término medio en comparación con otros sectores industriales, pero está muy por debajo de sectores como el biotecnológico o de las TICs, con intensidades del orden del 15%-20%. La excepción son las empresas de fabricación de componentes específicas (por ejemplo, en la industria fotovoltaica, los fabricantes de componentes específicas invierten en I+D en torno al 10% de sus ventas). Las compañías europeas han tenido el liderazgo en eólica y solar térmica de concentración, y compañías americanas y asiáticas han tenido el liderazgo en fotovoltaica. Sin embargo, las tendencias están cambiando por efecto de la crisis en Europa y el aumento de la I+D en países emergentes como China o India.

2.3

Resultados de innovación en energía

2.3.1. Publicaciones

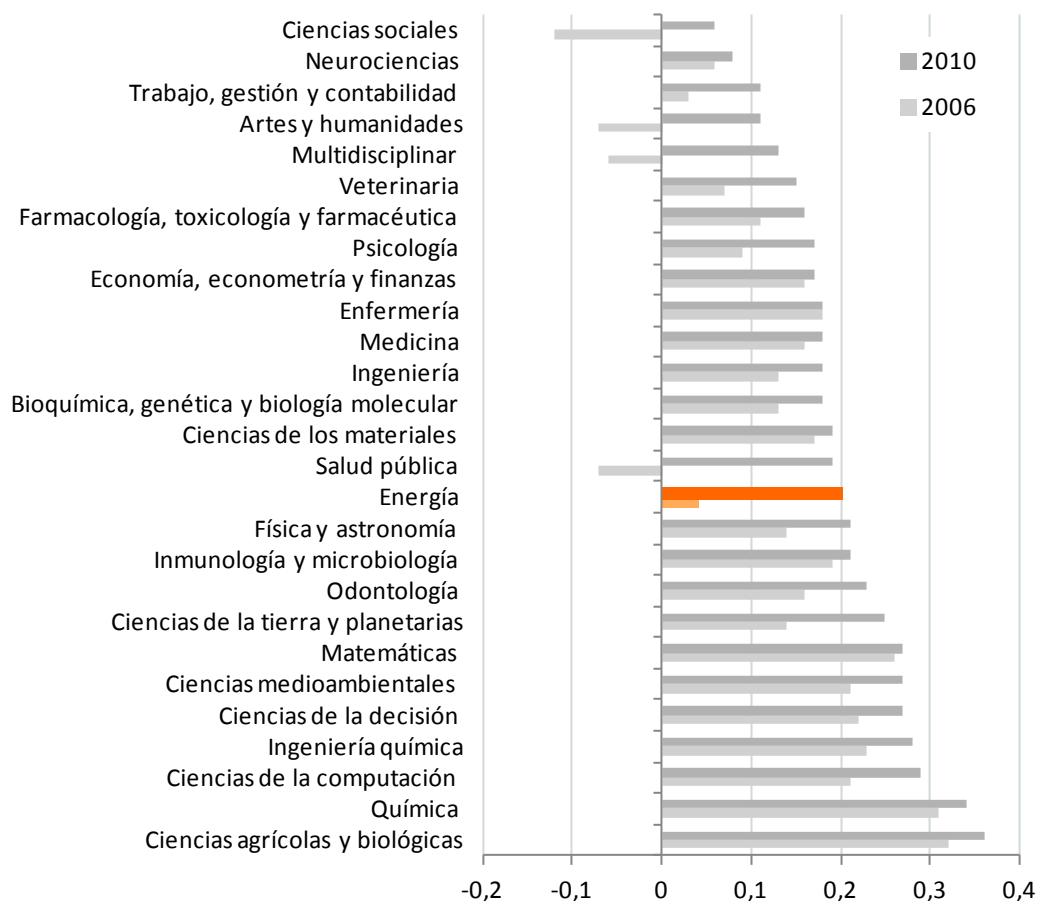
España ha publicado hasta la fecha el 3,5% de los artículos científicos en temas de energía y automoción existentes a nivel mundial (Fundación General CSIC, 2012)⁸. En 2010, se publicaron 649 artículos científicos en energía de origen español, lo que representa un 0,8% del total de artículos españoles publicados. La tendencia es positiva, ya que supone un aumento del 74% respecto al número de artículos en energía publicados en 2006 (Cotec, 2012). Si además se tiene en cuenta el área de automoción, las publicaciones españolas en energía y automoción suponen el 1% del total de publicaciones españolas, por encima de lo que suponen en la Unión Europea (0,73%) y el resto del mundo (0,67%) (*op.cit.*).

El Gráfico 27 ilustra las áreas de especialización de la producción científica española con respecto a Europa occidental, y puede verse como el grado de especialización en energía es positivo y ha aumentado de 2006 a 2010. Dentro del campo de la energía, destaca la producción sobre hidrógeno, biomasa y biocombustibles, y pilas de combustible, en las que el CSIC se posiciona como una de las organizaciones más activas a nivel mundial (Fundación General CSIC, 2012).

⁸ Este informe reciente de la Fundación General CSIC, titulado *Informe de la I+D en Energía y Automoción*, se centra en el análisis de publicaciones y patentes y resulta muy útil como inventario de centros y líneas de investigación en el área de energía y automoción existentes en España.

Gráfico 27: Especialización de la producción científica española con respecto a Europa Occidental

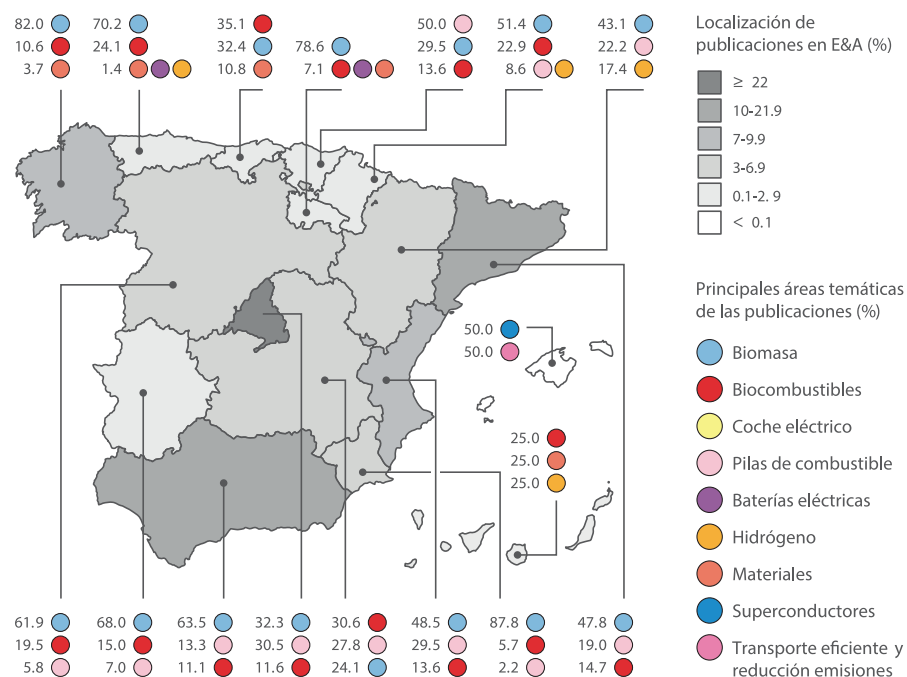
(índice de especialización relativa: un valor positivo en un área temática indica una mayor especialización en esa área en España que en el conjunto de Europa Occidental)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos en (Cotec, 2012), basados en Scopus

El Gráfico 28 ilustra el reparto de la producción científica española en energía y automoción por regiones y tecnologías. Puede verse que la Comunidad Autónoma de Madrid es la que acumula un mayor número de publicaciones en este campo, seguida de Cataluña y Andalucía. Como tecnologías sobre las que se han generado más publicaciones destacan en la mayoría de las comunidades la biomasa, los biocombustibles y las pilas de combustible.

Gráfico 28: Distribución de la producción científica española en energía y automoción por comunidades autónomas y tecnologías



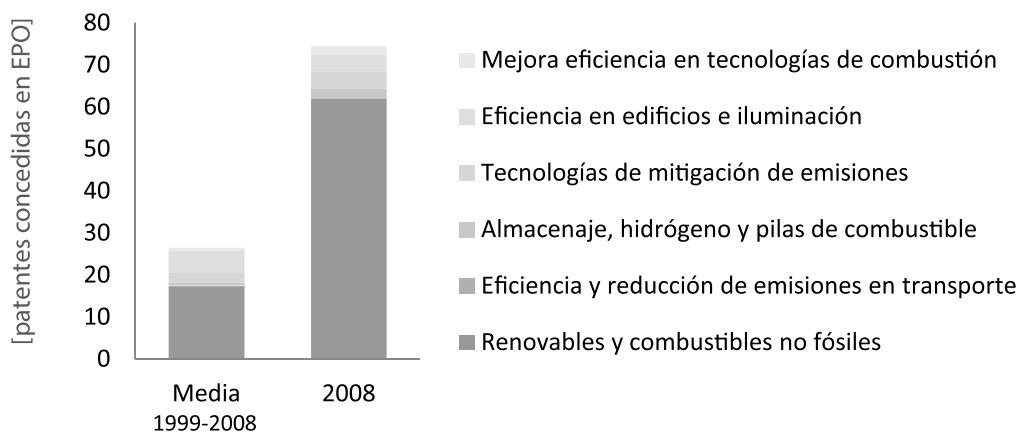
Fuente: (Fundación General CSIC, 2012)

2.3.2. Patentes

Las patentes suelen interpretarse como un indicador de los resultados de innovación con aplicación práctica en la industria (a diferencia de las publicaciones, que sirven de indicador de resultados de investigación, sin que necesariamente exista una aplicación comercial). Aún así, debe tenerse en cuenta que las patentes representan un indicador parcial, ya que no se patentan todas las innovaciones, y además no todas las que se patentan llegan a aplicarse (no todas las patentes resultan en tecnologías comercializadas, y en algunos campos se patentan sólo para evitar que otras compañías entren en ese área de conocimiento).

Los dos siguientes gráficos permiten apreciar ciertas tendencias en la innovación en tecnologías energéticas en España a partir del número de patentes registradas en la Oficina Europea de Patentes (EPO según sus siglas en inglés). El Gráfico 29 muestra el número de patentes de origen español (según el país de residencia de los inventores) concedidas por la EPO en tecnologías energéticas que pueden suponer una reducción de emisiones, desagregando por grupos de tecnologías energéticas, y comparando la situación media en el periodo 1999-2008 con la situación en 2008. Puede observarse como el número de patentes en 2008 aumentó muy significativamente respecto a la media de la década precedente (en concreto, un 158%). Detrás de este aumento están sobre todo las tecnologías de generación con energías renovables y de biocombustibles, para las que se triplicó el número de patentes, y que constituyen el 83% de las patentes españolas en tecnologías energéticas de mitigación de emisiones.

Gráfico 29: Número de patentes de origen español concedidas por la Oficina Europea de Patentes en tecnologías energéticas que reducen emisiones; España, media 1999-2008 y 2008

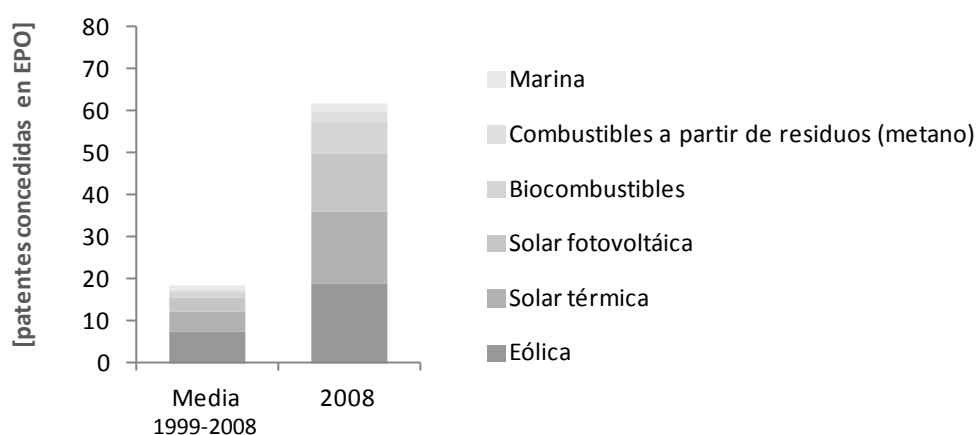


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

El Gráfico 30 aporta un mayor nivel de desagregación para este grupo de tecnologías de generación con energías renovables y de combustibles no fósiles. Puede verse como las tecnologías con más peso dentro de este grupo son, en este orden, la eólica (con un 31% de las patentes), la solar térmica (28%) y la solar fotovoltaica (22%). Estas tecnologías coinciden con las tecnologías renovables que han tenido un mayor impulso en España en el periodo estudiado, aumentando su potencia instalada muy significativamente⁹.

Gráfico 30: Número de patentes de origen español concedidas por la Oficina Europea de Patentes en tecnologías renovables y combustibles no fósiles*; España, media 1999-2008 y 2008

*desagregación de la categoría "Renovables y combustibles no fósiles" del Gráfico 29



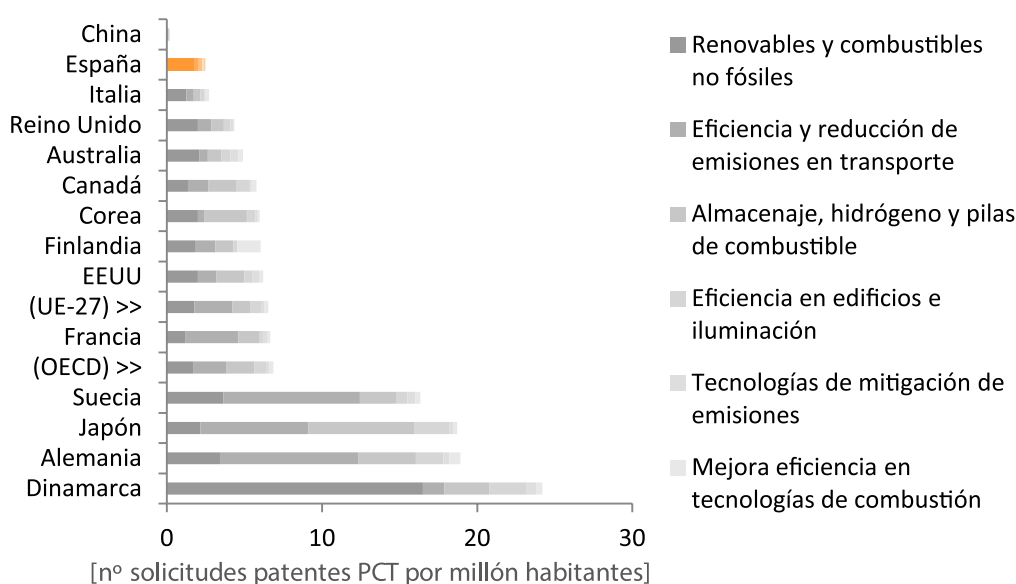
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

⁹ Potencia instalada en eólica y solar en España en 1999 y 2008 según datos de REE en sus informes anuales del sistema eléctrico español para estos años (REE, 1999)(REE, 2008):



Comparemos ahora la situación en España con la de otros países. Para ello recurrimos como indicador al número de solicitudes de “patentes internacionales”: aquellas solicitadas bajo el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT según sus siglas en inglés), que establece un procedimiento único para todos los países participantes. Nótese que se trata de patentes solicitadas, y no necesariamente concedidas (por motivos de disponibilidad de datos). El Gráfico 31 ilustra el número de patentes internacionales solicitadas por millón de habitantes en tecnologías energéticas que pueden reducir emisiones para varios países (según país de residencia de los inventores) en el año 2007. Puede verse como España ocupa una posición rezagada, con 2,5 patentes solicitadas por cada millón de habitantes, lo que supone tan sólo el 10% de Dinamarca (situado a la cabeza con 24,2 patentes por millón de habitantes).

Gráfico 31: Comparación internacional en número de patentes internacionales (PCT) en tecnologías energéticas solicitadas por millón de habitantes; Varios países, 2007

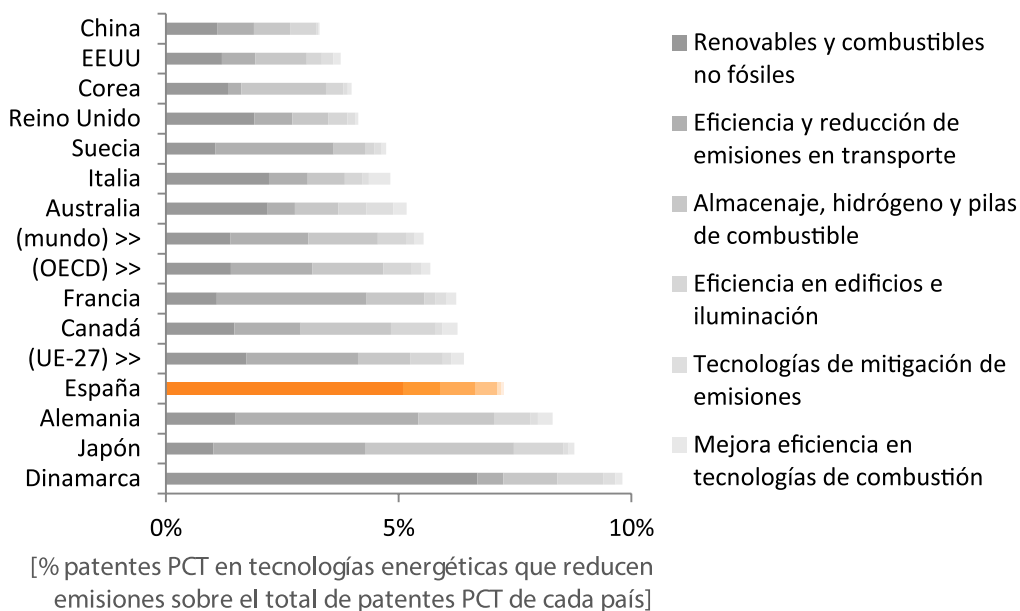


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

El Gráfico 32 aporta otra perspectiva interesante, ilustrando cuánto suponen las patentes en estas tecnologías energéticas en el total de patentes internacionales solicitadas en cada país. En esta comparación, España sí ocupa una posición destacada: las patentes relacionadas con tecnologías energéticas que reducen emisiones suponen un 7% del total de patentes internacionales de origen español solicitadas (no tan lejos de Dinamarca, que de nuevo se sitúa a la cabeza con un peso del 10%, y por delante de países como Estados Unidos con un peso del 4%). Este hecho denota que, dentro de la limitada producción española de patentes, el área de tecnologías energéticas tiene un peso relativo muy significativo.

	1999	2008
Eólica	1.144 MW	15.874 MW
Solar	1 MW	2.984 MW

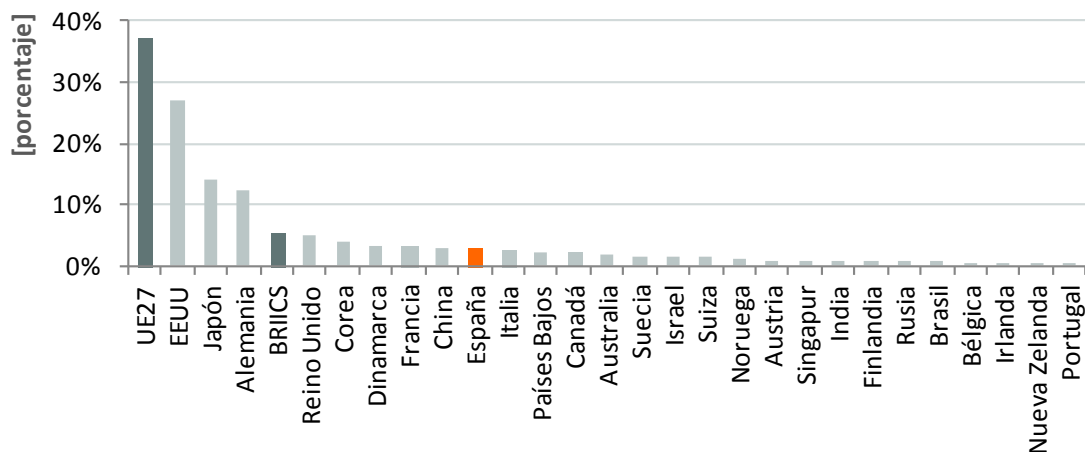
Gráfico 32: Comparación internacional en peso de patentes internacionales (PCT) solicitadas en tecnologías energéticas que reducen emisiones sobre el total de patentes PCT solicitadas en cada país; Varios países, 2007



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

Centrándonos en el grupo de tecnologías renovables y combustibles no fósiles, el Gráfico 33 nos permite entender la contribución de España al total de patentes internacionales. En el periodo 2007-2009, las patentes de origen español supusieron casi un 3% de las patentes internacionales en estas tecnologías (contribución similar a la de países como Dinamarca, Francia, China e Italia). Los países que más patentes generan en esta área tecnológica son, en este orden, Estados Unidos (27% de las patentes a nivel mundial), Japón (14%) y Alemania (12%).

Gráfico 33: Comparación internacional en contribución al total de patentes internacionales (PCT) en tecnologías renovables y combustibles no fósiles; Varios países, 2007-2009



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD

2.3.3. Innovación en las empresas

Un 42% de las empresas del sector de la energía han introducido algún producto o proceso novedoso en los últimos tres años (frente a una media del 31% en el resto de sectores industriales). De entre estas empresas, aproximadamente un 80% han introducido innovaciones de manera continuada en el tiempo (Fundación OPTI, 2012). La Tabla 6 resume algunos indicadores de innovación en las empresas del sector de la energía, según datos de la Encuesta sobre Innovación en las Empresas de 2010.

Tabla 6: Indicadores de innovación en las empresas del sector de la energía; España 2010

	Industrias petroleras	Material y equipo eléctrico	Energía y agua	TOTAL energía
Empresas innovadoras: Total	6	419	174	599
Empresas innovadoras: %	54,55	45,93	32,81	
Intensidad de innovación (% de ventas dedicado a innovación)	0,23%	1,92%	0,51%	
% de la cifra de negocio en productos nuevos y mejorados	37,78	29,38	7,23	

Fuente: INE, Encuesta sobre Innovación en las Empresas 2010

Parece que la probabilidad de conseguir innovaciones exitosas aumenta cuando las empresas participan en programas cooperativos de innovación y entre aquellas empresas que reciben financiación pública, según un estudio sobre los efectos de la I+D en el conjunto de las empresas españolas (no específico del sector de la energía) (FECYT, 2012).

2.3.4. Eficiencia de la innovación

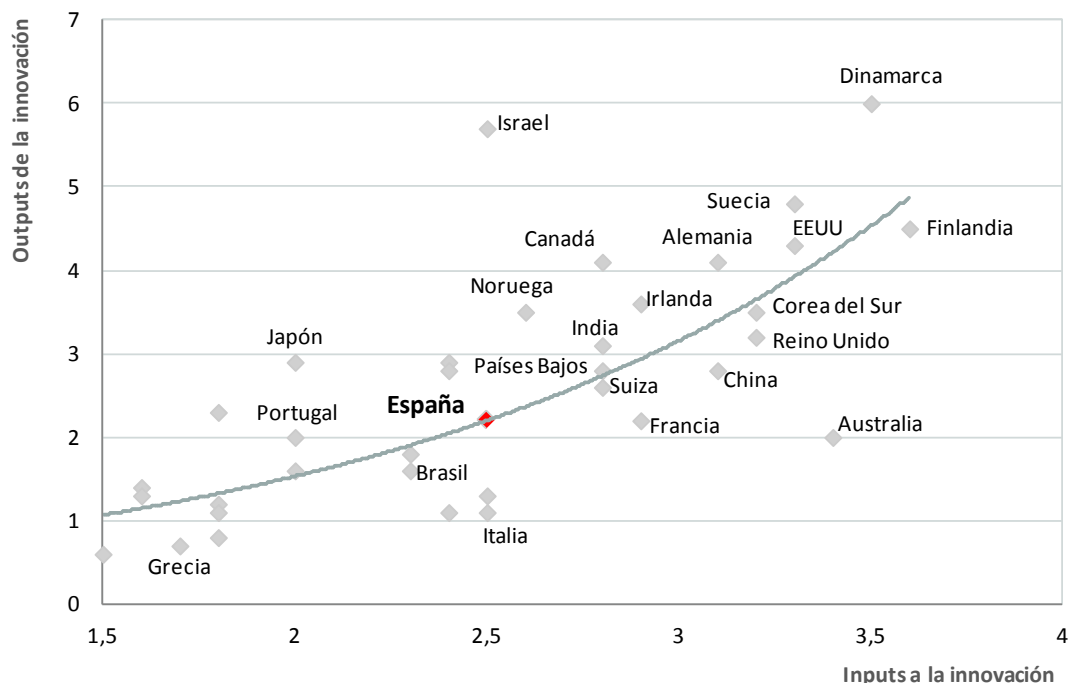
Aunque conviene recordar que la innovación no es un proceso lineal en el que inputs y outputs tengan una relación directa, resulta interesante comparar el esfuerzo realizado en innovación con los resultados obtenidos y así tener una idea de la eficiencia del sistema de innovación en comparación con otros países.

Para esto, resulta muy útil análisis de (Cleantech-WWF, 2012), en el que se evalúa la capacidad para crear y comercializar nuevas empresas de tecnologías limpias¹⁰ en treinta y ocho países. Para ello, basándose en numerosos indicadores, se construyen unos indicadores agregados de inputs a la innovación y outputs de la innovación¹¹. Representando estos indicadores agregados para todos los países analizados, obtenemos el Gráfico 34. Puede verse como España parece estar en un nivel de eficiencia en línea con la tendencia media, aunque situada en la parte inferior de la clasificación: bajos inputs, bajos outputs.

¹⁰ Es importante notar que, entre las tecnologías limpias consideradas en este informe, se consideran tecnologías no sólo energéticas, sino también en otros campos como agricultura, agua, residuos y materiales. Sin embargo, dado que las tecnologías energéticas son las que tienen un peso significativamente superior (supusieron un 77% de la inversión de capital riesgo en cleantech en 2010), consideramos que este estudio resulta relevante para el análisis la innovación en energía.

¹¹ En el "Anexo C: Datos y limitaciones" pueden encontrarse los factores qué se tienen en cuenta para construir estos índices.

Gráfico 34: Eficiencia de innovación en tecnologías limpias según índice *Global Cleantech Innovation*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos en (Cleantech-WWF, 2012)

2.4 Efectos socioeconómicos

2.4.1. Efectos socioeconómicos de la innovación en general

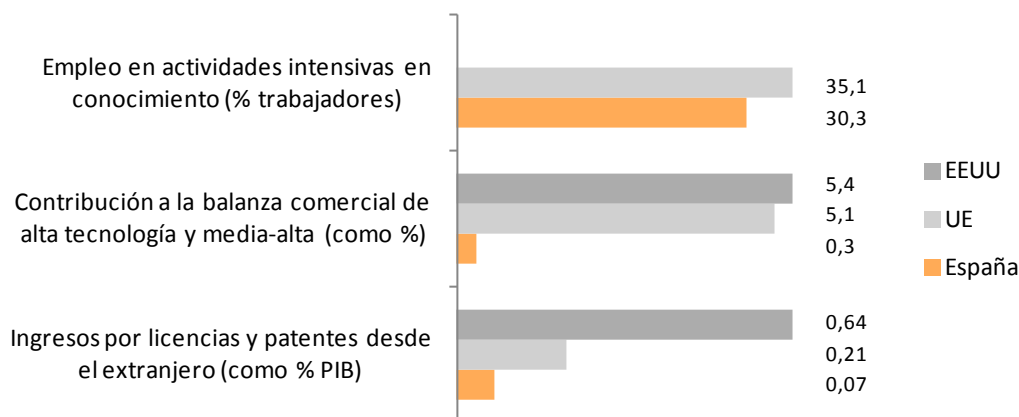
Al analizar cómo se relaciona el desempeño en innovación con el desempeño socioeconómico, según un estudio de Inno-metrics para la Unión Europea, parece que los países líderes en innovación sí presentan un mejor desempeño económico (medido en términos de PIB per cápita y de productividad laboral) y un mejor desempeño medioambiental (medido en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y de intensidad energética de la economía), aunque no parece haber diferencias significativas en cuanto a desempeño social (medido en términos de tasa de desempleo, desigualdad salarial y fracaso escolar) (Rai y Patel, 2011).

También para Estados Unidos, los estudios que han tratado de estimar el retorno socioeconómico de la inversión en I+D han obtenido resultados generalmente positivos. Según la revisión de estudios de (Margolis y Kammen, 1999), la tasa de retorno para entidades privadas se ha estimado en torno al 20-30%, y la tasa de retorno social en torno al 50%.

Para España también se ha encontrado una relación positiva entre el gasto en innovación en las empresas y los resultados de las empresas en términos de producción, exportaciones y venta de nuevos productos y servicios (FECYT, 2012). De hecho, este informe concluye que las políticas públicas de apoyo a la innovación fomentan el crecimiento de la economía, en tanto en cuanto consiguen un efecto positivo en el crecimiento de las empresas.

El Gráfico 35 representa cómo se compara España con la Unión Europea y Estados Unidos en tres indicadores de los efectos socioeconómicos de la innovación: ingresos por licencias y patentes, contribución a la balanza comercial de alta tecnología, y empleo en actividades intensivas en conocimiento. Llama la atención la escasa contribución a la balanza comercial de la alta tecnología en España, y también el bajo nivel de ingresos por licencias y patentes (sobre todo al compararlo con el caso de Estados Unidos).

Gráfico 35: Indicadores de efectos socioeconómicos de la innovación; España, UE, EEUU 2009



Fuente: Elaboración propia a partir de datos en (Comisión Europea, 2011b)

2.4.2. Rentabilidad de la inversión en I+D en energía

Para la inversión pública en I+D en el área de energía específicamente, los estudios realizados muestran en general retornos positivos. En la Unión Europea, la tasa de retorno estimada para la inversión en I+D en el Plan SET en el periodo 2010-2030 es del orden del 15% (Wiesenthal et al., 2010). En Estados Unidos, se estimó que el beneficio económico de sólo seis programas de eficiencia energética promovidos por el Departamento de Energía (DOE) en el periodo 1978-2000 había sido casi cuatro veces superior a la inversión del gobierno en todos los programas de I+D sobre eficiencia en el mismo periodo (NRC, 2001; en Anadon et al., 2011). Otra estimación para Estados Unidos apunta que los 17.500 millones de dólares invertidos por el DOE entre 1978 y 2000 (fundamentalmente en I+D en el campo de la eficiencia energética y los combustibles fósiles) supusieron un retorno de 41.000 millones (IEA, 2012).

También a nivel de las empresas parece haber una correlación positiva entre el esfuerzo de I+D y los resultados económicos (aunque por supuesto los resultados económicos se ven afectados por muchos más factores que el esfuerzo en I+D). En particular, según (Fundación OPTI, 2012) si las empresas del sector de la energía que realizan actividades innovadoras puntuales pasasen a realizar una actividad innovadora continuada se podrían mejorar los resultados económicos en un 6%, y si las empresas regularmente innovadoras aumentasen los recursos destinados a innovación en un 25%, los resultados económicos mejorarían en un 1%.

2.4.3. Comercialización de tecnologías energéticas

El ranking de países elaborado por WWF en base al valor añadido que aporta la fabricación de tecnologías limpias revela una posición destacada de España: en 2010 ocupaba la séptima posición en el ranking mundial, tanto en términos absolutos como relativos (manteniendo la posición respecto al ranking de 2008 en términos absolutos, pero

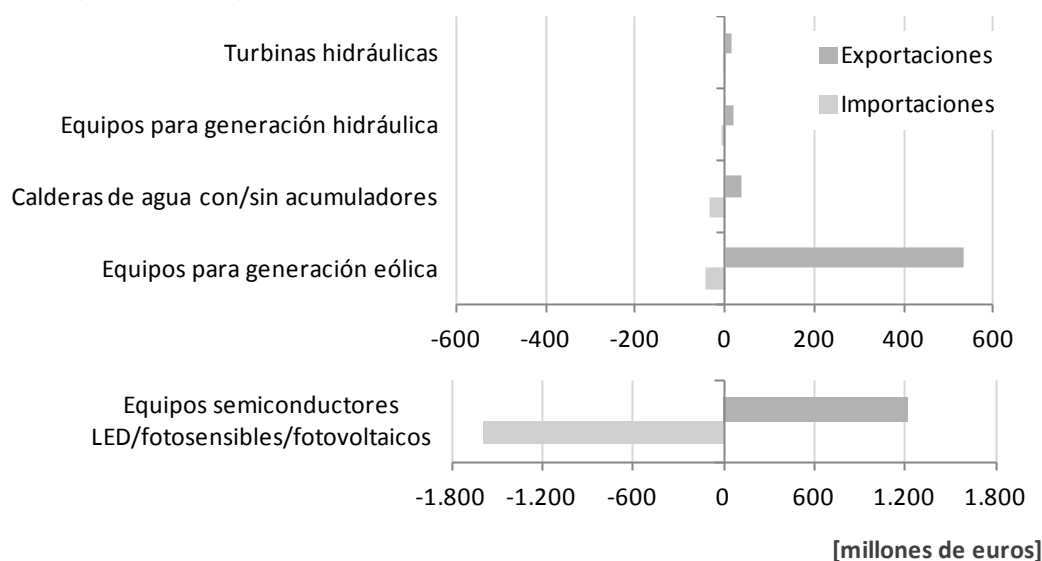
perdiendo tres posiciones en el ranking en términos relativos respecto al PIB) (WWF, 2011). España destaca sobre todo en la fabricación de turbinas eólicas, ocupando en 2008 el segundo puesto en el ranking mundial en términos relativos respecto al PIB (WWF, 2009).

Cuando se analiza el crecimiento, sin embargo, España no se encuentra entre el grupo de los cinco países que están progresando de forma más significativa, formado por China (crecimiento del 77% anual), Estados Unidos (29%), Alemania (19%), Japón (15%) y Corea del Sur (30%) (WWF, 2011).

Las exportaciones de tecnología pueden dar una idea del nivel de competitividad internacional que alcanzan las empresas españolas, que al menos en parte vendrá determinada por su éxito en la innovación (Fundación OPTI, 2012). El Gráfico 36 muestra el valor comercializado en importaciones y exportaciones de algunas tecnologías energéticas para España en 2010, y los principales países receptores de estas tecnologías. Entre las tecnologías consideradas, destaca sobre todo la exportación de turbinas eólica y equipos relacionados: España exportó en 2010 equipos para generación eólica por valor de 533 millones de euros (frente a 41 millones de euros de valor de importaciones de esta tecnología). Entre los países a los que España exporta estas tecnologías, destaca Italia (de donde proviene el 41% del valor de las exportaciones), seguida de otros países europeos como Alemania, Francia y Reino Unido.

Gráfico 36: Valor comercializado en importaciones y exportaciones de tecnologías relacionadas con la energía, y principales países receptores; España 2010

(Códigos de tecnologías en UN Comtrade: 841011, 841012, 841013, 841090, 841919, 850231, 854140)

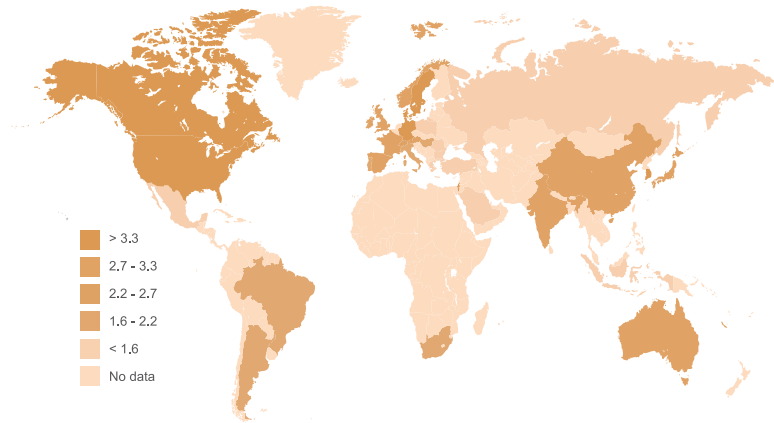


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de UN Comtrade

2.4.4. Emprendimiento en el sector de la energía

Según el índice de innovación *Global Cleantech*, que valora el potencial y la actividad de start-ups de tecnologías limpias (fundamentalmente de energía, aunque también se consideran otros campos como residuos, agua, materiales y agricultura), España tiene una valoración superior a la media en factores de comercialización de tecnologías limpias (gracias sobre todo a las políticas que hasta ahora han impulsado la instalación de generación renovable), pero en cambio presenta una valoración inferior a la media en factores de innovación (Cleantech-WWF, 2012). Según este informe, los puntos débiles de España están en la falta de una cultura emprendedora fuerte, en una escasa financiación pública de la I+D, y en la dificultad de acceso a financiación privada. El Gráfico 37 representa los resultados de este índice para todos los países a nivel mundial, y puede verse como España se encuentra entre los de valoración intermedia.

Gráfico 37: Mapa del índice de innovación Global Cleantech, que valora la actividad y potencial de start-ups de tecnologías limpias



Fuente: (Cleantech-WWF, 2012)

Otro indicador de que España no destaca en emprendimiento en energía puede encontrarse en el hecho de que entre las cien empresas seleccionadas en el informe *Global Cleantech 100*, que selecciona las cien empresas privadas de tecnologías limpias con más probabilidad de causar un mayor impacto en el mercado en los próximos 5-10 años, no se encuentra ninguna empresa española. En la selección del 2011, destaca a la cabeza EEUU (con 58 empresas), seguida ya de lejos por el Reino Unido (con 9), Alemania (con 5) y otros trece países (con entre 3 y 1) (Cleantech, 2011).

2.5 Resumen de indicadores

Con la idea de ofrecer una panorámica general del desempeño del sistema español de innovación en energía en el contexto internacional, se recoge en la Tabla 7 un resumen de indicadores para España en comparación con la Unión Europea y Estados Unidos.

Tabla 7: Resumen de indicadores – comparación España-UE-EEUU

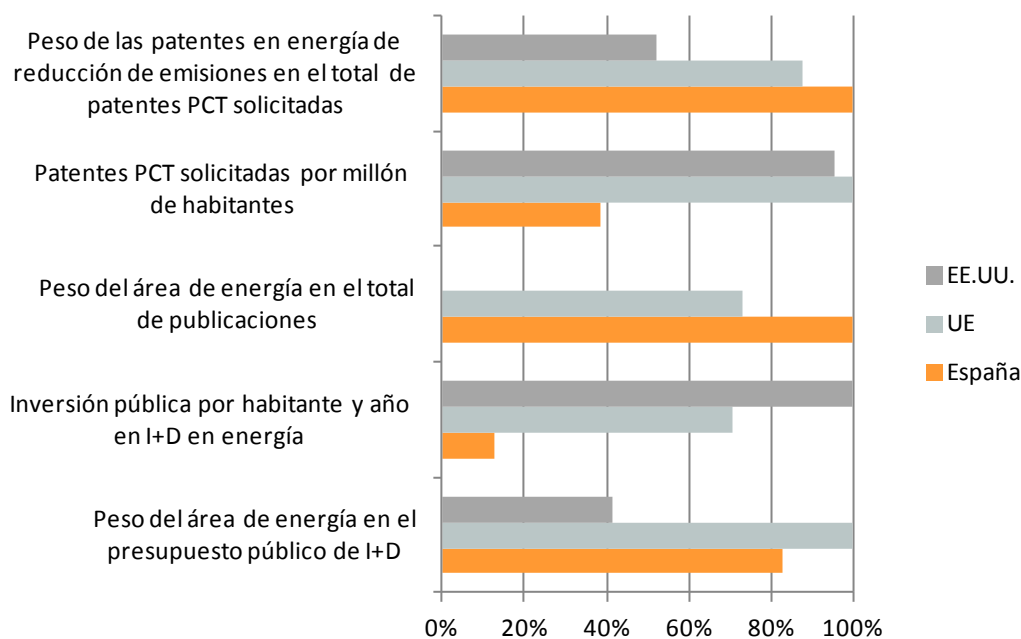
	España	UE	EEUU	Fuente y periodo nalizado
Peso del área de energía en el presupuesto público de I+D	3,4%	4,1%	1,7%	Eurostat Media 2007-2010
Inversión pública por habitante y año en I+D en energía	6,28 €	8,78 €	6,00 €	Eurostat Media 2007-2010

	España	UE	EEUU	Fuente y periodo analizado
Inversión pública por habitante y año en I+D en energía	1,6 €	8,9 €	12,6 €	IEA Media 2005-2011
Peso del área de energía en el total de publicaciones	1%	0,73%		(Fundación General CSIC, 2012)
Patentes PCT solicitadas por millón de habitantes	2,5	6,5	6,2	OECD Año 2007
Peso de las patentes en energía de reducción de emisiones en el total de patentes PCT solicitadas	7,3%	6,4%	3,8%	OECD Año 2007
Ingresos por licencias y patentes desde el extranjero como %PIB (todas las áreas, no sólo energía)	0,07%	0,21%	0,64%	(Comisión Europea, 2011b) Año 2009
Contribución a la balanza comercial de alta tecnología (todas las áreas, no sólo energía)	0,3%	5,1%	5,4%	(Comisión Europea, 2011b) Año 2009

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diversas fuentes recogidos en secciones previas

El Gráfico 38 presenta visualmente esta comparativa, convirtiendo los valores de los indicadores en porcentajes respecto al máximo valor de entre los tres países/regiones considerados.

Gráfico 38: Resumen de indicadores de innovación en energía; España-UE-EEUU



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diversas fuentes recogidos en secciones previas

Más adelante, analizaremos qué nos dicen estos indicadores, cuando realicemos el diagnóstico del sistema de innovación en energía en España en la Sección 4.1. Partiendo del análisis de la situación recogido en todo este capítulo, se identificarán las principales debilidades y fortalezas del sistema español de innovación en energía, y se propondrán recomendaciones para mejorarlo y potenciarlo.



[03]

Los beneficios de invertir en I+D en energía. Ahorros potenciales en el sistema energético español

3.1. La importancia y dificultad de estimar los beneficios de la I+D

3.2. Caso de estudio para el sistema de energía español

3.3. Metodología

3.4. Datos: el efecto de la inversión en I+D en el coste de tecnologías energéticas

3.5. Resultados: Ahorros y retornos potenciales en el sistema energético español gracias a la inversión en I+D

3.6. Implicaciones

3.1

La importancia y dificultad de estimar los beneficios de la I+D

Medir el efecto de las inversiones públicas en investigación, desarrollo y demostración (I+D+D) no es trivial, ya que la atribución es complicada. Aún así, los estudios que han intentado cuantificar los beneficios de inversiones en I+D+D en energía concluyen (utilizando una metodología bastante conservadora) que, generalmente, los beneficios son mucho mayores que la inversión.

Un estudio del Departamento de Energía en EEUU calculó que los veinte programas más exitosos financiados por el Departamento en el área de eficiencia energética entre el año 1978 y el año 2000 resultaron en 37.000 millones de dólares en beneficios. Estos veinte programas en el área de eficiencia energética fueron más que suficientes para compensar los 23.000 millones de dólares que el Departamento había invertido en todos los programas de eficiencia energética y de renovables durante el mismo periodo de tiempo (U.S. DOE, 2000). Otro estudio evaluó seis programas en eficiencia energética financiados conjuntamente por el Departamento de Energía (también en EEUU) entre los años 1978 y 2000 y concluyó que el coste de 500 millones de dólares había resultado en unos 36.000 millones de dólares en beneficios (NRC, 2001).

Estas evaluaciones ex-post de los beneficios de programas de I+D+D ya implementados resultan fundamentales para valorar su desempeño e informar programas futuros. Igualmente importante es tratar de evaluar los beneficios de posibles programas de I+D+D ex-ante, para tratar de identificar las líneas de actuación más provechosas y las formas más eficientes de utilizar los recursos a la hora de diseñar las políticas de innovación.

Precisamente con este propósito se ha llevado a cabo el proyecto ERD3 en Estados Unidos: partiendo de un riguroso análisis, proporciona recomendaciones para orientar la inversión nacional en I+D+D en energía. En el informe *Transforming U.S. Energy innovation* (Anadon et al., 2011), entre otros análisis, se estiman los ahorros que podrían suponer para el sistema de energía de EEUU diferentes escenarios de inversión en I+D+D en energía, y se obtiene por ejemplo que un aumento de la inversión en I+D+D de 2,9 billones de dólares anuales podría llegar a suponer ahorros en el sistema superiores a los 300 billones de dólares en el año 2050.

Nuestro propósito aquí es realizar un análisis similar para España, y así tener una idea de cuál es la magnitud de los ahorros que se podrían conseguir en el sistema energético español gracias a invertir en I+D en energía. Este análisis

no es trivial, ya que requiere evaluar dos efectos complejos e inciertos: el efecto de la inversión en I+D en el coste de las tecnologías, y el efecto de estos cambios en el coste de las tecnologías en el conjunto del sistema energético. El siguiente apartado describe cómo se ha planteado este análisis.

En cualquier caso, y antes de presentar el análisis, es importante recordar que únicamente se están cuantificando aquí los ahorros en términos de reducción de coste de las tecnologías energéticas. Otros beneficios descritos en secciones anteriores, como la creación de valor añadido doméstico, el aumento de competitividad, etc., requieren metodologías de cálculo más complejas y no se han estudiado en el informe.

3.2

Caso de estudio para el sistema de energía español

La inversión en I+D en tecnologías energéticas, si resulta efectiva, puede conseguir reducir el coste de las tecnologías, y a su vez estas reducciones en el coste de las tecnologías pueden suponer ahorros en la provisión del servicio energético. Como ya hemos adelantado, el objetivo del análisis que aquí planteamos es precisamente cuantificar cuál puede ser la magnitud de esos ahorros, en particular para el sistema energético español.

Para ello, vamos a considerar escenarios de aumento en la inversión en I+D respecto a los niveles actuales para diferentes tecnologías energéticas. Las tecnologías consideradas serán solar fotovoltaica (FV), solar térmica de concentración (CSP), eólica, captura y secuestro de CO₂ (CCS), nuclear, gas, baterías (para vehículos eléctricos e híbridos enchufables) y biocombustibles.

A la hora de definir los escenarios de inversión en I+D, vamos a considerar niveles de inversión pública anual en I+D en energía en el conjunto de la Unión Europea. Sin embargo, es importante notar que, para el propósito de este estudio, no resulta relevante de dónde provengan los fondos de la inversión en I+D, ni dónde se realice esa inversión en I+D. Esto se debe a que, como ya hemos mencionado, vamos a estimar beneficios para España como país receptor de mejoras tecnológicas, y no otros posibles beneficios como país productor de las mismas (mejora del tejido productivo, ingresos por exportación de tecnología, etc.). Independientemente de qué países inviertan en I+D, si se consigue reducir el coste de las tecnologías energéticas, esto se traducirá en ahorros en el sistema español.

Para cada tecnología y escenario de inversión en I+D, tendremos una estimación del coste futuro de la tecnología, para el año 2030 en particular (en la Sección 3.2.2 se explicará de dónde provienen estas estimaciones). Utilizando un modelo del sistema energético español (que se describirá también en la próxima Sección 3.2.2), evaluaremos cuál sería el coste del sistema energético español en 2030 en los diferentes escenarios de costes tecnológicos. Finalmente, con estos resultados calcularemos los ahorros y retornos que podría suponer para el sistema energético español la inversión en I+D en tecnologías energéticas.

3.3

Metodología

En esta sección describiremos primero los datos que se han utilizado para cuantificar el efecto de la inversión en I+D en el coste de las tecnologías energéticas, y a continuación describiremos el modelo utilizado para evaluar el efecto del abaratamiento de las tecnologías en el coste del sistema energético español.

Evaluación del efecto de la inversión en I+D en el coste de las tecnologías energéticas

Para estimar cuál puede ser el efecto de invertir en I+D sobre el coste de las tecnologías, hay fundamentalmente dos enfoques posibles: (i) se puede recurrir a datos de los costes de las tecnologías en el pasado, identificar los factores que afectan a su evolución (incluyendo la inversión en I+D como uno de los factores) y tratar de inferir con ellos el desarrollo futuro de la tecnología, o (ii) se puede recabar la opinión de expertos sobre el comportamiento futuro de los costes de las tecnologías en diferentes escenarios de inversión en I+D. El primer enfoque suele materializarse en forma de curvas de aprendizaje de dos factores, que explican la evolución de costes a partir del nivel acumulado de producción de la tecnología y del nivel acumulado de inversión en I+D (Wiesenthal et al., 2012a)¹.

Para nuestro estudio, vamos a recurrir al segundo enfoque, gracias a los datos facilitados por dos proyectos, uno europeo y otro estadounidense. En Europa, el proyecto ICARUS² realizó consultas a expertos sobre el coste futuro de tecnologías energéticas en función del nivel de inversión pública en I+D en el conjunto de la UE. De este proyecto provienen los datos que hemos utilizado para las siguientes tecnologías: FV, CSP, biocombustibles, baterías y nuclear. Para las tecnologías de gas y CCS, al no existir datos a nivel europeo, hemos recurrido a los datos del Proyecto ERD3³, realizado en Estados Unidos con una metodología similar a la del proyecto ICARUS. En los dos proyectos, las estimaciones de costes futuros de las tecnologías proporcionadas por los expertos correspondían a costes en el año 2030.

La excepción a este enfoque será la tecnología eólica, para la que no se disponían de datos provenientes de consultas a expertos, por lo que se ha recurrido a las curvas de aprendizaje de dos factores para estimar la reducción de costes asociada a la inversión en I+D.

Evaluación del efecto de la reducción de costes de las tecnologías en el coste del sistema energético español

Para evaluar los ahorros que la reducción potencial de costes tecnológicos gracias a la I+D podrían suponer en la provisión del servicio energético en España, se ha utilizado el modelo del sistema energético español desarrollado por (López-Peña et al., 2011). Se trata de un modelo *bottom-up* de equilibrio parcial del sector energético español completo. Inspirándose en los diagramas de Sankey⁴ y en modelos como el TIMES, describe todos los principales procesos energéticos, desde la obtención de energía primaria (nacional o importada), pasando por la conversión y el transporte de energía (refinado de petróleo, regasificación, generación eléctrica, transmisión y distribución eléctrica, etc.), hasta el consumo de energía final en todos los sectores (residencial, industrial, primario, servicios, y transporte).

El modelo es estático, se resuelve para un único año (en el caso de este análisis será 2030). Para ese año, el modelo resuelve cuáles son las capacidades necesarias en cada proceso, y los flujos de energía entre los mismos, así como todas las importaciones y exportaciones, que minimizan el coste del sistema, teniendo en cuenta las restricciones técnicas y regulatorias aplicables. Entre otros resultados, el modelo permite obtener el coste total del sistema (incluyendo la anualidad de los costes de inversión, fijos y variables de operación y mantenimiento, y costes de importaciones, entre otros), las inversiones necesarias en nueva capacidad, los precios de la energía final o el nivel de emisiones de CO₂.

1 Algunos ejemplos del uso de curvas de aprendizaje de dos factores pueden encontrarse en (Nicos Kouvaritakis (coord.), 2007), (Ek y Söderholm, 2010) o (Klaassen et al., 2005).

2 Fondazione Eni Enrico Mattei. Web del proyecto ICARUS: <http://www.icarus-project.org>

3 Belfer Center for Science and International Affairs (Harvard Kennedy School). Web del proyecto ERD3: http://belfercenter.ksg.harvard.edu/project/10/energy_technology_innovation_policy.html?page_id=213. Datos disponibles en la web.

4 Con este modelo se realizan los diagramas de Sankey de la energía en España que publican anualmente desde la Cátedra BP de Energía y Sostenibilidad.

Con este modelo, se estimará el coste total del sistema energético español en 2030 ante reducciones en el coste de las tecnologías dados para los diferentes escenarios de inversión en I+D considerados. Como caso base, se considerará el escenario en el que la inversión anual en I+D se mantiene a niveles actuales hasta 2030. A partir de los resultados del modelo, calculando la diferencia entre el coste del sistema en los diferentes escenarios de inversión en I+D y el caso base, se estimarán los ahorros para el sistema energético español que supone la inversión en I+D. También se estimarán los retornos, dividiendo la magnitud de los ahorros entre la magnitud del aumento de inversión en I+D necesaria para conseguirlos.

3.4

Datos: el efecto de la inversión en I+D en el coste de tecnologías energéticas

Como ya se ha mencionado, para todas las tecnologías consideradas en nuestros escenarios de I+D a excepción de la eólica, para estimar el efecto de la inversión en I+D en el coste de las tecnologías se ha recurrido a estimaciones de expertos recogidas en los proyectos ICARUS y ERD3.

Las estimaciones de los expertos sobre el coste futuro de las tecnologías venían expresadas en unidades monetarias por unidad de potencia instalada (para nuclear, gas y CCS) o por unidad de energía producida (para fotovoltaica, CSP, biocombustibles y baterías). Para facilitar la introducción de los datos al modelo y la comparación de datos entre tecnologías y escenarios de inversión, hemos optado por expresar las reducciones de costes en las tecnologías como ahorros porcentuales respecto a un escenario base de inversión en I+D.

Estos datos en forma de ahorro porcentual se introducen en el modelo afectando al coste de inversión de las tecnologías, excepto en el caso de los biocombustibles. Dado que existe una gran variedad de biocombustibles y la reducción de costes podría venir por ahorros en la obtención de materia prima o en las tecnologías de procesado, se ha optado por aplicar una reducción de costes homogénea a toda la cadena de suministro, de tal forma que el factor de reducción de costes afecte al coste por unidad de energía producida, y no al coste por unidad de potencia instalada.

Los costes de inversión de las tecnologías que suponemos de partida han sido estimados consultando las perspectivas de un conjunto de fuentes rigurosas⁵. En particular, hemos utilizado las medianas de las estimaciones de los estudios consultados para estimar trayectorias de costes hasta 2050, y hemos calculado a partir de ellas un valor promedio para todo el periodo en el que podrían producirse las instalaciones en la ejecución de nuestro modelo (desde la actualidad hasta el año 2030). Cabe notar que para el caso de las tecnologías de captura y secuestro de CO₂ se han encontrado diferencias notables en el coste proyectado por diferentes fuentes consultadas. Finalmente, hemos optado por tomar un coste para las centrales con CCS del doble de las centrales tradicionales correspondientes (coste de las centrales de carbón con CCS del doble que las centrales de carbón sin CCS, e idem para el gas). Esta estimación supone una posición intermedia entre las estimaciones más optimistas y las más pesimistas que hemos encontrado.

La forma en la que hemos definido los escenarios de inversión en I+D viene condicionada por la forma en la que se definieron en las consultas a expertos de donde provienen los datos. En el proyecto ICARUS se optó por preguntar a los expertos por los costes futuros de las tecnologías en tres escenarios de inversión: suponiendo que el nivel actual de inversión anual se mantiene de aquí a 2030, suponiendo que se incrementa la inversión un 50% respecto al nivel actual

5 Como son IEA *Energy Technology Perspectives*, IEA *Projected costs of generating electricity*, IEA *Updated costs of generating electricity*, datos del modelo PRIMES (anexo Energy Roadmap 2050 de la Comisión Europea), World Energy Technology Outlook (WETO-H2), o el informe "Sound Energy Policy for Europe" de IHS CERA.

("actual +50%"), y suponiendo que se incrementa la inversión un 100% respecto al nivel actual ("actual +100%"). En el proyecto ERD3, en cambio, se optó por preguntar a los expertos por el nivel de inversión que ellos recomendarían, y por el coste futuro de las tecnologías en los cuatro siguientes escenarios: si se mantuviese el nivel actual de inversión, si el nivel de inversión fuese el recomendado por ellos ("recomendado x1"), si fuese la mitad del recomendado ("recomendado x0,5"), y si fuese diez veces el recomendado ("recomendado x10").

Partiendo de estos datos, calculamos los ahorros porcentuales que se conseguirían en los diferentes escenarios de inversión respecto al escenario base, que definimos como aquel en el que se mantiene el nivel actual de inversión. Así, para los datos provenientes del proyecto ICARUS, tendremos ahorros porcentuales en dos escenarios de inversión respecto al escenario base ("actual +50%" y "actual +100%"), y en los datos provenientes del proyecto ERD3 tendremos ahorros porcentuales en tres escenarios ("recomendado x0,5", "recomendado x1" y "recomendado x10"). La Tabla 8 resume los datos de reducción de costes de las tecnologías que se introducen al modelo, y puede verse cómo las filas corresponden a estos escenarios de inversión para diferentes tecnologías.

Para la tecnología eólica, para la que no se disponían de datos de los proyectos ICARUS y ERD3, se ha recurrido a las curvas de aprendizaje de dos factores. En particular, se han utilizado las estimaciones de (Klaassen et al., 2005), que obtienen una tasa de aprendizaje en función de la I+D para la eólica del 12,6%. Esta tasa representa lo que se reduce el coste de la tecnología al doblarse la inversión en I+D; por tanto, corresponde al ahorro porcentual en el escenario "actual +100%". Utilizando la fórmula con la que se define la curva de aprendizaje, podemos calcular también cuál sería el ahorro porcentual en el caso de que la inversión aumente un 50%, y el resultado es un ahorro del 7,5% en el escenario "actual +50%". En la Tabla 8, la última fila corresponde a esta tecnología y puede verse que los datos introducidos al modelo corresponden a los valores mencionados.

Como el efecto de la inversión en I+D en el coste de las tecnologías es notablemente incierto, los proyectos ICARUS y ERD3 trataron de recoger la incertidumbre asociada pidiéndoles a los expertos tres estimaciones del coste futuro de las tecnologías en términos probabilísticos: el valor por debajo del cual creían que estaría el coste futuro de la tecnología con una probabilidad del 90%, el valor por debajo del cual creían que estaría el coste futuro de la tecnología con una probabilidad del 50%, y el valor por debajo del cual creían que estaría el coste futuro de la tecnología con una probabilidad del 10% (es decir, se recogieron los percentiles 10, 50 y 90 de la función de probabilidad que los expertos estiman para el coste futuro de las tecnologías en función de la inversión en I+D).

En nuestro análisis hemos querido recoger también esta incertidumbre. Para ello, vamos a considerar para cada tecnología la estimación más pesimista (o, lo que es lo mismo, de mínima reducción de coste, reflejada en la tabla como "min"), la estimación más optimista (de máxima reducción de coste, "max" en la tabla), y la estimación intermedia (la mediana de las estimaciones de reducción de coste, "med" en la tabla), de entre todos los ahorros porcentuales calculados a partir de las estimaciones de los expertos para los percentiles 10, 50 y 90. Para tener más detalle en el rango de reducción de costes más probable, consideramos también las estimaciones mínimas, medianas y máximas entre los ahorros porcentuales calculados a partir de las estimaciones de los expertos para el percentil 50 (es decir, entre sus "*best guess*"). En la Tabla 8 puede verse cómo quedan recogidas todas estas estimaciones, organizadas por columnas.

Tabla 8: Escenarios de reducción de costes de tecnologías en función de la inversión pública en I+D de la Unión Europea

		Percentiles 10, 50 y 90			Percentil 50 ("Best guess")				
Tecnología	Escenario inversión I+D	min	med	max	min	med	max	Referencia	Método, proyecto
FV	actual +50%	0%	16%	50%	0%	16%	37%	(Bosetti et al., 2012)	Consulta a expertos, Proyecto ICARUS para UE
	+100%	0%	32%	83%	0%	31%	64%		
CSP	actual +50%	0%	10%	17%	5%	13%	17%		
	+100%	2%	19%	57%	10%	19%	33%		
Biocombustibles	actual +50%	0%	13%	38%	0%	13%	29%	(Fiorese et al., 2012)	
	+100%	0%	25%	67%	0%	25%	57%		
Baterías >vehículos eléctricos	actual +50%	0%	10%	50%	0%	10%	33%	(Bosetti et al., 2011)	
	+100%	0%	22%	75%	0%	17%	60%		
> vehículos híbridos enchufables	actual +50%	0%	10%	50%	0%	9%	32%		
	+100%	0%	20%	67%	0%	16%	59%		
Nuclear	recom.x0,5	0%	0%	14%	0%	0%	8%	(Anadón et al., 2012)	
	x1	0%	8%	21%	0%	8%	17%		
	x10	0%	17%	25%	5%	20%	25%		
Gas	recom.x0,5	0%	0%	40%	0%	0%	40%	(Chan et al., 2010)	Consulta a expertos; Proyecto ERD3 para EEUU
	x1	0%	0%	52%	0%	8%	52%		
	x10	0%	7%	66%	0%	16%	66%		
CCS	recom.x0,5	0%	0%	6%	0%	0%	0%		
	x1	0%	4%	20%	0%	9%	20%		
	x10	0%	18%	40%	3%	20%	40%		
	recom.x0,5	0%	0%	50%	0%	0%	50%		
> en centrales de carbón	x1	0%	4%	60%	0%	10%	60%		
	x10	0%	18%	67%	5%	20%	67%		
> en centrales de gas	x1	0%	4%	60%	0%	10%	60%		
	x10	0%	18%	67%	5%	20%	67%		
Eólica	actual +50%					8%		(Klaassen et al., 2005)	Curvas de aprendizaje, datos UE
	+100%					11%			

De cara a calcular los retornos asociados a la inversión en I+D, necesitamos conocer cuál es la inversión asociada a cada tecnología y escenario. Los niveles de inversión en I+D considerados en este estudio pueden verse en la Tabla 9. Como ya se ha mencionado, corresponden a niveles de inversión pública anual en el conjunto de la Unión Europea.

En la Tabla 9, la columna “actual” contiene estimaciones de la inversión pública en la UE en el año 2007. La columna “recomendada” contiene estimaciones del nivel mediano de inversión recomendada por los expertos consultados los proyectos ICARUS (para nuclear) y ERD3 (para gas y CCS). La inversión en el resto de escenarios de I+D puede calcularse de forma sencilla a partir de estos valores⁶. Las fuentes de donde se han tomado estas estimaciones pueden consultarse en las notas al pie indicadas en la Tabla.

Tabla 9: Escenarios de inversión pública anual en I+D en la UE

Tecnología	Inversión I+D [millones de euros]	
	actual ⁷	recomendada ⁸
FV	163	
CSP	38	
Biocombustibles	78	
Baterías	100	
Nuclear	702	1500
Gas	18	162
CCS	56	477
Eólica	92	

Una vez presentados los datos más relevantes para este estudio, veamos en la próxima sección los resultados que hemos obtenido.

3.5

Resultados: Ahorros y retornos potenciales en el sistema energético español gracias a la inversión en I+D

En esta sección presentaremos los resultados obtenidos, limitándonos por el momento a explicarlos y dejando el análisis de implicaciones para la Sección 3.6.

Para presentar los resultados de forma condensada, vamos a recurrir a unas gráficas que muestren ahorros/retornos para todas las tecnologías y escenarios de I+D, y que reflejen el rango de incertidumbre de esos ahorros/retornos. Para ayudar a comprender estas gráficas, incluimos una leyenda en la Figura 4. A la izquierda puede verse cómo estarán ordenadas las tecnologías y escenarios: las primeras cuatro tecnologías tendrán dos columnas de resultados cada una, correspondientes a los escenarios “actual +50%” y “actual +100%” en este orden (también la última, que corresponde a la eólica, y que se ha separado de este grupo por hacer notar que utiliza datos diferentes, como ya hemos explicado previamente); las tres tecnologías que faltan tendrán tres columnas de resultados cada una, correspondientes a los escenarios “recomendado x0,5”, “recomendado x1” y “recomendado x10”.

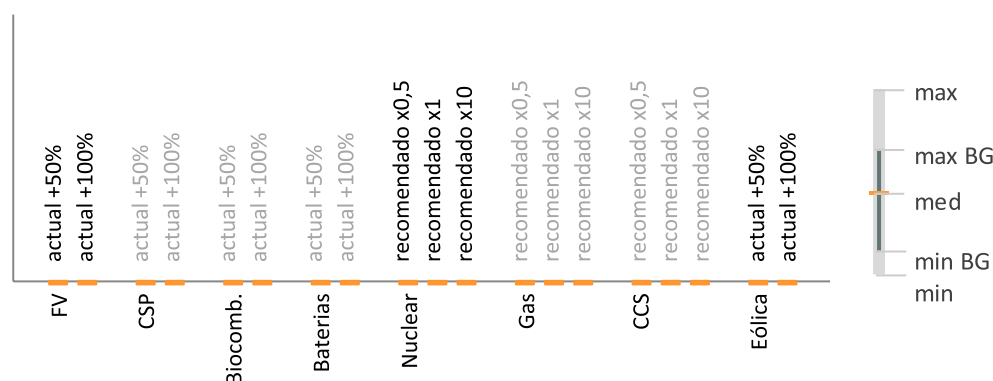
6 Multiplicando el valor “actual” por 1,5 y 2 para los escenarios “actual +50%” y “actual +100%” respectivamente, y multiplicando el valor “recomendado” por 0,5 y 10 para los escenarios “recomendado x0,5” y “recomendado x10” respectivamente.

7 Basado en datos de inversión pública en I+D en tecnologías del Plan SET de la UE (Wiesenthal et al., 2012b); (Wiesenthal et al., 2011) para baterías. Los datos de inversión actual para nuclear, gas y CCS se incluyen como referencia, pero en el análisis se considerarán sólo los datos de inversión recomendada (por coherencia con cómo se han definido los escenarios de reducción de costes de las tecnologías).

8 Mediana de recomendaciones de expertos. Para nuclear, estimaciones para la Unión Europea (proyecto Icarus). Para gas y CCS, estimaciones de inversión conjunta en combustibles fósiles y CCS para Estados Unidos (proyecto ERD3), y reparto entre gas y CCS basada en (Chan et al., 2010).

También en la Figura 4, pero a la derecha, puede verse cómo hemos representado la incertidumbre de las estimaciones: la línea horizontal naranja indica el resultado para la estimación mediana de ahorro porcentual en el coste de las tecnología; la columna más amplia en tono gris claro representa el rango comprendido entre el resultado para la estimación de ahorro mínima y el resultado para la estimación de ahorro máximo; de forma análoga, la línea vertical en tono gris oscuro representa el rango comprendido entre el resultado para la estimación de ahorro mínima y el resultado para la estimación de ahorro máximo pero considerando sólo las estimaciones “best-guess” (BG, las del percentil 50) de los expertos, lo que permite acotar el rango más probable de resultados.

Figura 4: Leyenda para entender las gráficas de resultados

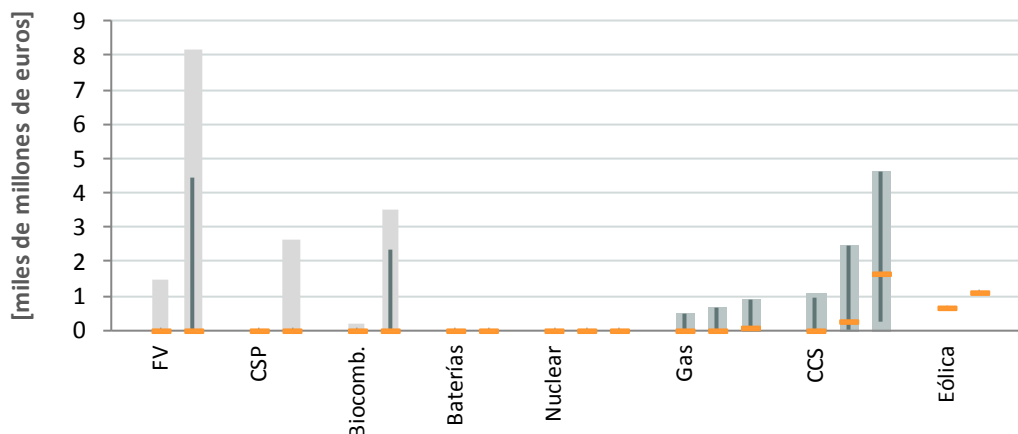


Para el análisis vamos a limitar las emisiones de CO₂ en todo el sistema energético español a un máximo anual de 164 Mt, lo que supondría una reducción del 20% respecto a las emisiones de 1990 (en línea con los objetivos de la Unión Europea a 2020). En nuestro caso base, vamos a suponer que no se instalan nuevas centrales nucleares, ya que para estar en funcionamiento en 2030 tendrían que empezar a construirse en los próximos años, lo cual no parece realista en vista del clima actual. Sin embargo, en el análisis de sensibilidad sí veremos cómo variarían los resultados si se permitiese la instalación de nuevas centrales nucleares.

Ahorros

Como ya hemos mencionado, los ahorros se calculan como la reducción en el coste del sistema energético español (electricidad, transporte y usos térmicos e industriales) en el año 2030 en un escenario de incremento de inversión en I+D respecto al escenario base en el que la inversión en I+D se mantiene en niveles actuales. El Gráfico 39 representa los ahorros obtenidos en el caso base para las diferentes tecnologías y escenarios de inversión en I+D considerados. El coste total del sistema, sobre el que se calculan estos ahorros, es de 113 miles de millones de euros (considerando costes de inversión en nueva capacidad, costes de operación y mantenimiento, costes de transporte, etc. para el conjunto del sistema energético español en el año 2030).

Gráfico 39: Ahorros en el sistema energético español por reducción del coste de tecnologías gracias a inversión en I+D, caso base



Una primera observación puede ser que para muchas de las tecnologías y escenarios de inversión, no existe ahorro para la estimación mediana de reducción de costes (las marcas horizontales naranjas están a cero). En esos casos, lo que está pasando es que no se está instalando nueva capacidad de esa tecnología, porque su coste resulta menos competitivo que el de otras tecnologías. En particular, en el caso base, la necesidad de nueva capacidad instalada se está cubriendo fundamentalmente con eólica, ciclos, y centrales de carbón y gas con CCS. Así, podemos ver como las reducciones medianas de coste en las tecnologías eólica y CCS sí se traducen en ahorros para el sistema energético español. Sin embargo, para otras tecnologías (FV, CSP y biocombustibles), son necesarias reducciones de coste superiores a las dadas por las estimaciones medianas para conseguir los ahorros en el sistema.

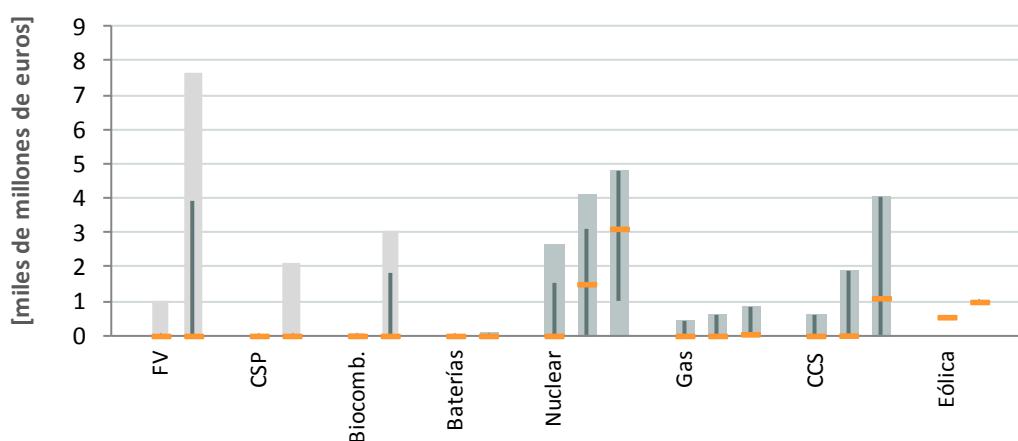
En términos de máximo ahorro alcanzable, vemos que destaca la tecnología **fotovoltaica** (con un potencial de ahorro máximo de hasta 8.000 millones de euros en el escenario de mayor inversión en I+D), seguida de la tecnología de **captura y secuestro del CO2** (con un potencial de ahorro máximo de unos 4.500 millones de euros en el escenario de mayor inversión en I+D). Los **biocombustibles** y la **solar térmica de concentración** sólo consiguen ahorros significativos en los escenarios de mayor inversión en I+D (alcanzando niveles cercanos a los 3.000 millones de euros para las estimaciones de máximo ahorro). Las centrales de **gas** presentan un potencial de ahorro modesto en comparación al de otras tecnologías (por debajo de los 1.000 millones de euros en todos los escenarios de inversión e incluso para las estimaciones de máximo ahorro). En ese mismo orden de magnitud están los ahorros alcanzados por la **eólica**.

En el caso de las **baterías**, no llegan a producirse ahorros en el sistema ni siquiera para las estimaciones de máximo ahorro. Esto es así porque, según los resultados del modelo, la descarbonización del sector transporte se consigue con vehículos de biocombustibles y no llegan a entrar vehículos eléctricos (incluidos híbridos enchufables) por resultar menos competitivos. Hemos comprobado que para que los vehículos eléctricos comiencen a desplazar a los vehículos de biocombustibles, son necesarias reducciones del coste de las baterías superiores al 75%. Dado que la máxima reducción de costes que hemos introducido para las baterías en los escenarios considerados es del 75% (ver Tabla 8), los vehículos eléctricos no llegan a aparecer en los resultados del modelo en ninguno de los escenarios, y consecuentemente presentan ahorros y retornos de la inversión en I+D nulos.

Para la tecnología **nuclear** no se producen ahorros en el caso base porque, como ya hemos mencionado, estamos suponiendo que no se pueden instalar nuevas centrales nucleares. Si permitimos la instalación de nuevas centrales nucleares, los resultados son los mostrados en el Gráfico 40. Puede verse como para todas las tecnologías excepto la nuclear el comportamiento de los resultados es similar al del caso base, pero con valores de ahorro ligeramente inferior-

res (entre 100 y 600 millones de euros inferiores, según la tecnología y escenario, lo que representa en cualquier caso menos del 0,5% del coste total del sistema). Para la tecnología nuclear, se obtienen ahorros significativos (del orden de 1.500 millones de euros para la estimación de coste más probable cuando se realiza la inversión en I+D recomendada por los expertos, y de hasta 5.000 millones de euros en el escenario de mayor inversión en I+D y para la estimación máxima de reducción de coste).

Gráfico 40: Ahorros en el sistema energético español por reducción del coste de tecnologías gracias a inversión en I+D, caso con instalación de nuclear



Los resultados presentados son robustos a cambios en el precio de los combustibles. Hemos comprobado que si los precios del gas, y del petróleo y sus derivados, se incrementan un 35%, apenas varían los ahorros obtenidos (las diferencias representan menos del 1% del coste total del sistema).

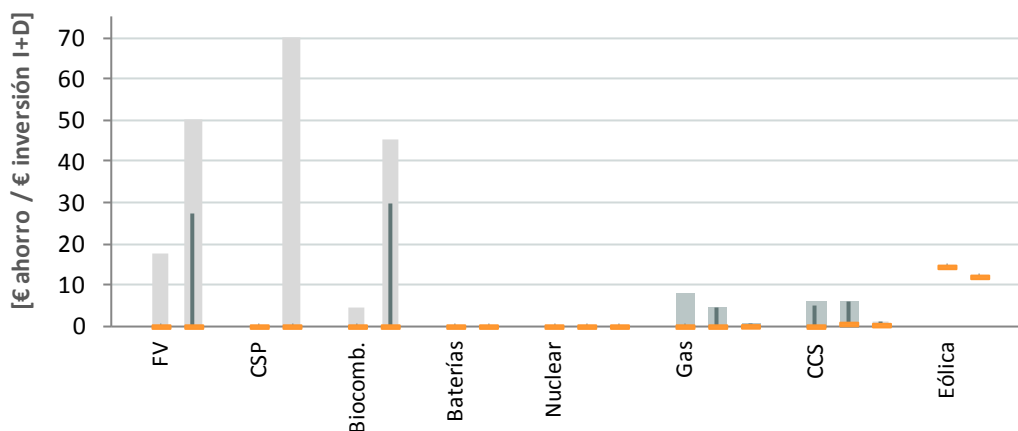
Retornos de la inversión

Analicemos ahora cuánto representan los ahorros obtenidos en relación a la inversión en I+D que implicarían. Para ello, calculamos los retornos de la inversión en I+D como el ahorro anual en el sistema energético español en el escenario de I+D considerado respecto al escenario base (los ahorros presentados en el Gráfico 39), dividido entre el aumento de la inversión en I+D que supone el escenario considerado respecto al escenario base (según los niveles de inversión presentados en la Tabla 9).

Cabe recordar que estamos considerando ahorros para España e inversión a nivel del conjunto de la Unión Europea. El sentido de esto es, por una parte y como ya hemos explicado, que lo que nos interesa es ver los beneficios que podría capturar el sistema español ante reducciones en el coste de las tecnologías, independientemente de donde provenga la inversión en I+D. Por otra parte, si constatamos que los ahorros que se podrían conseguir en el sistema español son superiores a la inversión europea en I+D, esto significaría que con gran probabilidad la rentabilidad a nivel europeo (el ahorro para todos los Estados Miembros en relación con el esfuerzo inversor del conjunto) sería todavía mayor, ya que cabe esperar que los sistemas energéticos del resto de países europeos también lograrían materializar ahorros.

El Gráfico 41 representa los retornos a la inversión en I+D que obtenemos para el caso base. Vuelven a aplicar las consideraciones que ya hicimos al presentar los ahorros respecto a los valores nulos de retorno para la estimación mediana de reducción de costes tecnológicos, respecto a la nuclear, y respecto a las baterías. También el análisis de sensibilidad que ya presentamos aplicaría a estos resultados, pues se obtienen simplemente de dividir los ahorros entre los niveles de inversión que corresponden a cada tecnología y escenario.

Gráfico 41: Retornos a la inversión en I+D, caso base



De nuevo, vemos como para muchas de las tecnologías y escenarios, cabe la posibilidad de que no se materialicen retornos a la inversión en I+D porque las reducciones del coste tecnológico no resulten suficiente para hacer competitiva la tecnología en cuestión. Sin embargo, cuando se consiguen reducciones de coste suficientes para que la instalación de la tecnología resulte rentable, los retornos de la inversión se disparan: los ahorros alcanzados pueden llegar a representar 70 veces la inversión. Es el caso de la tecnología **solar térmica de concentración** en el escenario de mayor inversión y para la estimación de máxima reducción de costes (que sin embargo presenta retornos nulos en el escenario de menor inversión). La tecnología **fotovoltaica** y los **biocombustibles** pueden alcanzar también retornos muy significativos, de hasta 50 y 45 veces la inversión respectivamente. Los retornos de la **eólica** rondan el orden de 14 veces la inversión.

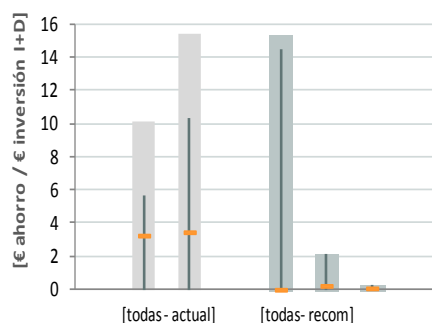
Por su parte, las tecnologías de **gas** y **CCS** presentan retornos del orden de 5 veces la inversión, aunque estos retornos caen a valores prácticamente nulos cuando se aumenta demasiado la inversión. Esto ocurre también para la tecnología **nuclear**, cuando se permite su instalación (no representado en el gráfico): llega a retornos por encima de 50 veces la inversión en el escenario de más baja inversión en I+D, pero sus retornos se desploman en los escenarios de mayor inversión.

Vemos por tanto como para algunas tecnologías aumentar la inversión en I+D conlleva un aumento de los retornos (es el caso de la FV, CSP y los biocombustibles), pero para otras tecnologías aumentar la inversión en I+D supone reducir los retornos hasta llegar incluso a extinguirlos (es el caso del gas y el CCS). Esto se debe a que la reducción del coste tecnológico en función de la inversión en I+D presenta una zona de saturación, a partir de la cual aumentar la inversión no supone mejoras sustanciales en el coste de la tecnología. Así, para el primer grupo de tecnologías que ven aumentados sus retornos al aumentar la inversión en I+D parece que los niveles de inversión que manejamos están por debajo de los niveles de inversión a los que se saturaría la reducción de costes (corresponde a las tecnologías para las que tenemos escenarios de aumento del 50% y del 100% respecto a niveles actuales de inversión). Para el segundo grupo de tecnologías que ven reducidos sus retornos al aumentar la inversión en I+D, en cambio, sí estaríamos alcanzando la zona de saturación con los niveles de inversión que manejamos (lo cual tiene sentido, porque el escenario de máxima inversión corresponde a diez veces la inversión recomendada por los expertos).

Este efecto puede verse claramente en el Gráfico 42, en el que se presentan los retornos agrupando todas las tecnologías para las que tenemos escenarios de inversión basados en el nivel actual (FV, CSP, biocombustibles, baterías, y eólica), y todas las tecnologías para las que tenemos escenarios de inversión basados en el nivel recomendado por los expertos (nuclear, gas y CCS). Puede verse como para el primer grupo de tecnologías sería más recomendable el mayor

nivel de inversión (actual +100%), mientras que para el segundo grupo de tecnologías ofrecería mayores retornos el menor nivel de inversión (recomendada x0,1).

Gráfico 42: Retornos a la inversión en I+D, caso base agrupando tecnologías



Fijándonos en este último gráfico, podemos concluir que si se invirtiese en el portfolio formado por el primer grupo de tecnologías (FV, CSP, biocombustibles, baterías, y eólica) cabría esperar unos retornos del orden de tres veces la inversión (que corresponde al resultado para estimaciones medianas de reducción de costes), pero se podrían llegar a superar retornos de diez veces la inversión en los escenarios más favorables. Para el segundo grupo de tecnologías, los retornos pueden llegar a alcanzar niveles similares (de hasta quince veces la inversión en el escenario más favorable) si se realiza una inversión ajustada.

Estos retornos son de un orden de magnitud similar, aunque ligeramente más conservadores, que los retornos estimados para Estados Unidos, que fueron del orden de veinte veces la inversión (en 2030, para una inversión al nivel de la recomendada por los expertos y para estimaciones medianas de reducción de costes tecnológicos) (Anadon et al., 2011).

3.6 Implicaciones

Después de presentar los principales resultados de este estudio, trataremos ahora de desglosar sus implicaciones.

Una primera conclusión que podemos extraer de los resultados es el alto nivel de incertidumbre asociado a la inversión en I+D en tecnologías energéticas. Algunas tecnologías llegan a instalarse sólo por debajo de un umbral de reducción de costes. Si la inversión en I+D no consigue reducciones de costes que sobrepasen ese umbral, la tecnología puede no llegar a ser competitiva y no repercutir por tanto en ahorros para el sistema energético. Si en cambio se logra una reducción de costes suficiente para hacer rentable su instalación, los ahorros en la provisión del servicio energético pueden dispararse hasta conseguir retornos muy significativos.

Este resultado pone de manifiesto la necesidad de asumir la posibilidad de fracaso cuando se apuesta por invertir en I+D en una determinada de tecnologías (hemos visto por ejemplo como la FV puede alcanzar desde retornos nulos hasta retornos de cincuenta veces la inversión), pero también la conveniencia de repartir los recursos destinados a la I+D entre un portfolio equilibrado de tecnologías (por ejemplo, según los resultados, podemos esperar que el portfolio formado por FV, CSP, biocombustibles, baterías y eólica alcance retornos del 300%).

Cabe señalar que la conveniencia de apostar por un portfolio de tecnologías es aplicable cuando se manejan grandes volúmenes de inversión, como el del conjunto de la Unión Europea que hemos considerado, pero no necesariamente

para un país como España, cuya contribución a la inversión en I+D en tecnologías energéticas a nivel mundial es marginal. En cualquier caso, sí sería recomendable que España, aún focalizando sus esfuerzos de I+D en unas pocas tecnologías, enmarque su estrategia de innovación energética en el marco más amplio de una estrategia europea, para así maximizar la probabilidad conjunta de conseguir mejoras tecnológicas provechosas.

Otra conclusión interesante es que los resultados apuntan a que los ahorros que se obtienen cuando se consigue una mejora tecnológica rentable son suficientes para compensar la inversión en otras tecnologías que no consiguen tener éxito. Por ejemplo, si se doblase la inversión en I+D actual para el primer grupo de tecnologías (FV, CSP, biocombustibles, baterías y eólica) y se invirtiese la cantidad recomendada por los expertos para el segundo grupo de tecnologías (nuclear, gas y CCS), la inversión total ascendería a 4.100 millones de euros. Sólo los ahorros conseguidos por la tecnología fotovoltaica en el sistema energético español en el escenario más favorable de reducción de costes (del orden de 7.500 millones de euros) serían suficientes para compensar esa inversión.

Si esto es así considerando sólo los ahorros del sistema energético español, cabría esperar que los retornos de la inversión europea en I+D en tecnologías energéticas repercutiese para el conjunto de los sistemas energéticos europeos fuese muy superior.

En definitiva, del análisis realizado podemos concluir que los ahorros que el sistema energético español podría capturar por reducciones de costes en las tecnologías energéticas gracias a la inversión en I+D son significativos, y suficientes para recuperar con creces la inversión en I+D a nivel europeo (al menos en los escenarios intermedios y favorables). Sin embargo, el alto nivel de incertidumbre asociado hace que resulte difícil identificar las tecnologías más prometedoras. Lo recomendable por tanto sería que la elección de tecnologías en las que enfocar la inversión española en I+D se realice en el marco de un portfolio de inversión a nivel europeo.



[04]

¿Cómo estimular la innovación en energía en España?

- 4.1. Un diagnóstico del sistema de innovación en energía en España**
- 4.2. Políticas de apoyo a la innovación en energía**
- 4.3. Recomendaciones para una política de innovación en energía en España**

Basándonos en los datos sobre la situación de la innovación en energía en España presentados en el capítulo 2, y en los resultados de la modelización ofrecida en el capítulo 3, en esta sección ofrecemos un diagnóstico sintetizado, y algunas recomendaciones sobre la política de innovación en energía en España.

Para ello también haremos uso de las recomendaciones formuladas por Anadón et al. (2011) en su informe sobre el sistema de innovación en energía en EEUU, y que, a pesar de las evidentes diferencias de contexto, presenta ideas de gran interés. Otra referencia interesante, no explorada al mismo nivel en este informe, es el caso de Israel, que también presenta una gran actividad reciente en innovación en energía.

En cualquier caso, y antes de presentar el diagnóstico y las recomendaciones, lo primero es, como en tantas otras ocasiones, decidir dónde queremos ir, es decir, qué queremos conseguir en materia de innovación en energía. El capítulo 1 ya introducía las razones para invertir en innovación energética: por una parte, reducir el coste de la transición energética hacia un sistema menos intensivo en carbono, y con mayor nivel de seguridad energética; y por otra parte, generar valor añadido y conocimiento en nuestra economía.

Para el primer objetivo no es imprescindible desarrollar un sistema propio de innovación. El “que inventen ellos” de Unamuno es perfectamente aceptable en este sentido. Como ya se ha demostrado, en un entorno global podemos perfectamente beneficiarnos, en términos de bajada de costes, de la innovación desarrollada en otros países, tanto si la financiamos nosotros como si no. Es la característica de bien público del conocimiento, de la innovación.

Esto no quiere decir que no sea interesante invertir en innovación para reducir costes. La rentabilidad de esta inversión está garantizada si se ejecuta adecuadamente, según un buen número de estudios: se estima que el retorno de la innovación en energía es de un 15%, aunque en EEUU se han estimado retornos del 200% para algunas tecnologías. En el caso español, y tal y como muestran los resultados ofrecidos en el capítulo 3, los ahorros obtenidos para el sistema energético español pueden llegar a ser más de cincuenta veces superiores a la inversión en I+D para algunas tecnologías, aunque con un alto nivel de incertidumbre (cabe la posibilidad de que no se consigan materializar reducciones de costes significativas en las tecnologías y que los retornos sean nulos en consecuencia). También es cierto que algunas tecnologías no consiguen ahorros ni retornos significativos en ninguno de los escenarios (por ejemplo, las baterías, que según nuestros escenarios no llegan a niveles de reducción de costes que hagan a los vehículos eléctricos competitivos respecto a los de biocombustible). Sin embargo, y como ya mencionábamos anteriormente, las reducciones de costes logradas no requieren que la inversión en innovación tenga lugar en España.

De hecho, y bajo este punto de vista, cualquier inversión en I+D en España será probablemente marginal a nivel global, y por tanto, innecesaria y quizá inútil, salvo en contadas excepciones o en el caso de una apuesta por el liderazgo en

una línea de innovación. Por supuesto, esto no aplica a las colaboraciones dentro de iniciativas coordinadas a nivel internacional, particularmente europeo.

Por tanto, la motivación fundamental para un país como España para mantener o aumentar su esfuerzo en innovación energética debe ser la creación de un tejido industrial competitivo, la generación de valor añadido propio, que incluso se pueda exportar. En un país como el nuestro con abundantes recursos renovables, esta opción permitirá no sólo crear nuevas áreas de económico basadas en el conocimiento, sino además ahorrar importaciones. Lo demás (los beneficios en términos de bajada de costes y el consiguiente impacto en las emisiones de dióxido de carbono) vendrá por añadidura.

A este objetivo pueden contribuir tanto la innovación incremental como la disruptiva. Sin embargo, la primera resultará en un menor valor añadido, interesante sólo cuando se puede combinar con economías de escala significativas (como es el caso de China), mientras que la segunda sí se traduce en ventajas competitivas significativas, por lo menos temporalmente (aunque a costa de las empresas existentes, desplazadas por esta disrupción). En cualquier caso, y como hemos dicho, ambas son bienvenidas.

Por supuesto, cabe plantearse si sería mejor invertir en otras áreas, como las infraestructuras. Ante esto, todos los estudios coinciden en que la rentabilidad de la inversión en I+D es alta, mayor que la rentabilidad de inversiones en capital físico. Por ejemplo, Bernstein (1989) concluyó que la rentabilidad de I+D es de 2,5 a 4 veces mayor que la rentabilidad de inversiones en capital físico. Además, casi todos los estudios concluyen que los beneficios a la sociedad de las inversiones en I+D son mucho mayores que los beneficios para las entidades privadas (Hall, et al. 2009).

Con estos objetivos, ¿qué podemos decir de la situación actual? El capítulo 2 ha señalado los aspectos más relevantes de nuestro sistema de innovación en energía. A continuación resumimos los hallazgos principales (los datos e indicadores que los sustentan pueden consultarse en el capítulo 2), aunque podemos condensarlos en una frase: salvo excepciones puntuales, la gran mayoría de los indicadores muestran que España puede y necesita mejorar, al menos cuando la comparamos con los países de referencia en su entorno.

4.1

Un diagnóstico del sistema de innovación en energía en España

Por comenzar con buenas noticias, podríamos decir que en algunos campos, principalmente los relacionados con las energías renovables, España está desarrollando tecnología competitiva a nivel internacional.

Sin embargo, es difícil atribuir esto a la existencia de buenas condiciones para la innovación, sino más bien al esfuerzo individual de algunos agentes, y en el caso de las renovables, al marco favorable que permitió a algunas empresas (no todas) invertir en I+D parte de las rentas obtenidas (además del apoyo de algunas regiones al desarrollo industrial).

En este sentido, la contraposición entre la investigación en energía eólica y solar fotovoltaica es paradigmática. La industria eólica consiguió desarrollar una actividad de innovación relevante, mientras que la industria fotovoltaica, en la que España contaba con líderes antes de la introducción del sistema de primas, fue básicamente desmantelada¹.

¹ Hay distintas explicaciones para esta situación: la implicación de los gobiernos regionales con políticas de apoyo tecnológico; la posible inexistencia de base industrial en el área de los semiconductores para fotovoltaica, etc.

Esta situación aparentemente paradójica se repite en otros ámbitos: no son las regiones o países que más presupuesto dedican, o que más investigadores tienen, los que mejores resultados obtienen. La creación de un ecosistema de innovación productivo no depende únicamente de cuánto dinero se ponga encima de la mesa (en el caso del sector fotovoltaico, el tamaño de la prima no contribuyó al mantenimiento de la industria productora), sino del conjunto y la coordinación de medidas que se desarrollen y de cómo se diseñen. El problema es que en el sector energético español hay problemas tanto en el cuánto se financia, como en el qué se financia y en el cómo se hace.

En primer lugar, el gasto (tanto público como privado) en I+D energético es bajo en comparación con otros sectores. Parte de la explicación para ello reside en la liberalización del sector energético que tuvo lugar desde finales de los 80. Efectivamente, el gasto en I+D en energía bajó mucho entonces, y desde entonces se ha mantenido en niveles muy bajos. Sin embargo, no todo puede achacarse a la liberalización: el gasto en I+D energético en España también es muy bajo en comparación con los países de nuestro entorno (incluidos aquellos en que también se ha liberalizado el sector), y más aún en el ámbito global.

La inversión pública por habitante en I+D en energía está por debajo de la media de la Unión Europea (incluso de UE-27), es un 10% de la de Japón, y un 20% de la de EEUU. Es cierto que parte de este déficit se ve compensado por el hecho de que somos el segundo país que más dinero recibe para estos fines de la Unión Europea, pero aún así no basta para compensar nuestra desventaja.

Además, una parte muy significativa de este gasto es gasto financiero, es decir, préstamos y anticipos reembolsables. Si bien este tipo de instrumentos tiene alguna ventaja, como es el mayor compromiso que requieren por parte de las empresas que innovan, también tienen muchos problemas. El primero es que distorsionan las estadísticas, al contabilizarse su cuantía total y no el gasto real (el diferencial de tipo de interés subvencionado). El segundo es que, como se observa en los últimos años, este tipo de apoyo no es bien recibido por los agentes, por su baja cuantía y mayor nivel de responsabilidad. En España, en los últimos años, una parte muy significativa (p.ej., un 43% en 2011) del gasto en innovación no se ha ejecutado. Esto puede deberse precisamente a gastos financieros que son rechazados por los receptores por su riesgo. El tercero, es que el tipo de proyectos que las empresas están dispuestas a financiar con préstamos y no con subvenciones serán menos arriesgados, y por lo tanto el perfil de la investigación podría más incremental.

Una de las razones de esta falta de inversión en innovación puede ser la poca popularidad o conocimiento científico de la sociedad española, en comparación con otros países. De hecho, es sorprendente que, dada la importancia que se da a la energía en muchos ámbitos, como por ejemplo la repercusión de las subidas de tarifa eléctrica en los medios, el gasto que supone en el presupuesto familiar, o su repercusión en el IPC, no se sea consciente de las razones de ello, y de las consecuencias que tendría la innovación en un tema de tanta relevancia aparente. Es revelador el dato de que en España se dedica a la I+D menos de un 1% de lo que se gasta en total en energía.

Otro elemento reseñable de la innovación en energía en España es el elevado peso del sector público, o alternatively, la poca participación de la inversión privada. Efectivamente, la inversión privada, esencial para estimular la transferencia de tecnología a la sociedad y a los mercados, y la mejor colocada para identificar oportunidades interesantes para la inversión, es especialmente baja en España. Esto no sólo es pernicioso por las ventajas señaladas, sino también por el hecho de que una excesiva dependencia del sector público también expone más a la inversión en innovación a oscilaciones como las que estamos observando en los últimos años debidas a la crisis económica. En realidad, el sector público debería servir para estabilizar este tipo de inversiones durante épocas de crisis en las que algunas empresas puedan tener mayor dificultad para invertir a largo plazo.

En España, las empresas energéticas dedican menos al I+D que las de otros sectores, (medida por la fracción de ventas invertidas en I+D). Incluso en tecnologías limpias, en que a nivel europeo hay una alta participación de la iniciativa privada, en España esta contribución no supera el 30%. Es interesante contrastar esta situación con la hipótesis avan-

zada por Menanteau et al (2003) de que las primas a las tecnologías renovables estimulaban la inversión privada en I+D. Según eso, en España deberíamos tener una posición privilegiada en eólica y solar. Y efectivamente, en términos relativos sí se observa una mayor actividad de patentes en las tecnologías renovables con apoyo vía primas. Y también se exporta mucha tecnología eólica (aunque no solar, en la que somos importadores netos). Y sin embargo, la intensidad en I+D de la eólica y la solar está entre el 2 y el 4% (datos globales, no disponibles para España), mayor que en el sector energético en su conjunto, pero menor que en otros sectores innovadores (como biotecnología y TICs). Esto posiblemente se deba a que las tecnologías en estos sectores se están poco a poco convirtiendo en “commodities”, cosa que no está pasando con el sector de biotecnología aplicado al área de salud, por ejemplo.

En el sector eléctrico sí que hay una cierta inversión en innovación por parte de las empresas, aunque de nuevo, inferior a la de otros países. Como era de esperar, no son las grandes empresas las que juegan el papel predominante, ya que son las que tienen más que perder frente a una innovación disruptiva. Cabe resaltar a este respecto que los datos disponibles sólo incluyen el I+D realizado por compañías eléctricas y petroleras y que parte de compañías que se pueden considerar parte del sector energético, como las eólicas, de biotecnología trabajando en biocombustibles, etc., invierten más en I+D que las empresas energéticas más tradicionales.

Sin embargo, y a pesar de la baja inversión propia, casi todo el gasto en I+D se ejecuta en empresas. Esto por una parte es positivo, porque supone conectar directamente la innovación con el sector productivo. De hecho, hay un porcentaje elevado de empresas (mayor que en otros sectores) que ha introducido procesos o productos novedosos: un 80% introduce innovaciones de manera continuada en el tiempo. Y las regiones que más empresas innovadoras tienen son las que mejor han conseguido integrar a la innovación en el proceso productivo. Pero por otro lado, si no se traduce en resultados visibles, transferibles, o públicos, también puede señalar una mera transferencia de rentas del gobierno a las empresas con la excusa de la innovación. El riesgo de “free-riding”, o de falta de eficacia en general del uso de estos fondos públicos, resulta evidente.

Un síntoma, o una consecuencia de esta falta de inversión privada, es que, aunque en publicaciones científicas estamos bien colocados y hay una mejora en los últimos años (especialmente en hidrógeno, biomasa y biocombustibles, o pilas de combustible), en patentes estamos muy por detrás de otros países (por ejemplo, y a pesar de que cada vez se patenta más, especialmente en renovables y biocombustibles, patentamos por habitante sólo un 10% de lo que se patenta en Dinamarca). Es cierto que las patentes en sí mismas no necesariamente suponen innovación (o que incluso pueden desincentivarla), y que en algunos casos sólo se utilizan como arma para la guerra comercial. Pero es que nuestro mal rendimiento en número de patentes también se traduce en un menor porcentaje del PIB que suponen los ingresos por licencias y patentes desde el extranjero. Lo mismo sucede con la contribución a la balanza comercial de la alta tecnología.

Dentro de este panorama pesimista, y como ya adelantábamos al principio, algunas tecnologías están mejor colocadas: dentro de nuestra limitada producción, el sector de las tecnologías limpias tiene un peso significativo, lo cual quiere decir que es un área muy importante dentro de nuestro sistema de innovación. En patentes relacionadas con las energías renovables, por ejemplo, producimos un 3% del total mundial (mientras que nuestra economía supone menos de un 2% del PIB total).

Esto puede deberse a que hay un gran porcentaje de inversión pública en I+D energética que va a estas tecnologías. En términos relativos, más del doble que en Alemania, y seis veces más que en EEUU. Sin embargo, para el objetivo de ser un líder tecnológico lo importante es el nivel absoluto (asumiendo efectividades comparables en la implementación). Y en este aspecto seguimos muy por debajo de otros países.

También es especialmente llamativa la muy baja inversión en innovación relacionada con la eficiencia energética, un elemento que debería ser prioritario en nuestra política energética (véanse los informes anteriores de Economics for

Energy sobre intensidad energética y análisis económico de las medidas de eficiencia energética para España). Es también notorio el elevado gasto en nuclear, una tecnología con perspectivas no demasiado brillantes a futuro en términos de aceptación social, y que sólo ha sido superado por las energías renovables en su conjunto en los últimos años.

En lo que se refiere a las infraestructuras y recursos, la situación de España es más intermedia.

En primer lugar, la innovación en energía exige recursos humanos con conocimientos técnicos, básicamente, ingenieros y científicos. España no está en mal lugar a este respecto normalizando por la población total, algo peor que Alemania, pero similar a Suecia y muy por encima de EEUU. El problema es que el número de graduados en estas disciplinas no es un buen indicador de la capacidad de innovación. En primer lugar, porque no sólo importa la cantidad, sino también la calidad: puede ser que la formación técnica en España se centre en resolver problemas con técnicas conocidas más que en desarrollar nuevas técnicas (es el caso de China, por ejemplo). Además, incluso el problema de la cantidad se puede resolver: Estados Unidos lo hace importando cerebros del exterior (entre ellos, un buen número de españoles).

También tenemos muchos menos investigadores que en otros países. Evidentemente, esto puede ser tanto causa del problema como una consecuencia (como hay poca actividad innovadora, no se contrata a mucha gente para ello). Eso sí, en algunas áreas sí parece que tenemos equipos muy bien cualificados a nivel internacional, aunque generalmente limitados al ámbito académico.

Respecto a la infraestructura de investigación, tampoco nos encontramos con una situación halagüeña. Hay muchos centros de investigación en energía de titularidad pública (muchos de ellos autonómicos), pero no parece que haya gran coordinación entre ellos, ya que cada uno responde a los intereses de su región.

Además, en estos centros se suele primar la innovación incremental, por supuesto interesante, pero menos que la innovación disruptiva. El gran riesgo asociado a las inversiones en este tipo de innovación hace que difícilmente pueda ser llevada a cabo en centros con personal funcionario (y por tanto con poco que ganar de ello).

De hecho, esta idea puede conectarse con otra igualmente preocupante respecto a la innovación: la baja cultura emprendedora de la sociedad española. En España se perciben pocas oportunidades de emprendimiento, tanto dentro como fuera de las empresas; el estatus social de los emprendedores es relativamente bajo; y todo ello resulta en una intención de emprender muy inferior a la de países de nuestro entorno.

Ante esta situación, y dado el interés en desarrollar la innovación en energía de manera efectiva y eficiente, parece esencial reconsiderar, reorientar, y en su caso reforzar las políticas públicas de apoyo a la innovación en energía. En la sección siguiente ofrecemos una breve panorámica de las opciones disponibles.

4.2

Políticas de apoyo a la innovación en energía

4.2.1. Políticas públicas para la innovación

Las políticas públicas para la innovación se pueden dividir en políticas de apoyo tecnológico ("technology push") y políticas de creación de mercado ("market pull") (Mowery y Rosenberg, 1979). La Figura 5 muestra los tipos de políticas públicas más relevantes en el área de la energía según estas categorías. En cualquier caso, es importante recordar que ambas deben estar coordinadas, y que difícilmente se pondrán alcanzar resultados positivos utilizando sólo uno de estos tipos.

Figura 5: Tipos de políticas que afectan a la innovación en energía: de apoyo tecnológico y de creación de mercado



Fuente: Adaptado de (Anadon y Holdren, 2009), basado en el trabajo de (Mowery y Rosenberg, 1979)

Políticas públicas de apoyo tecnológico

Las políticas de apoyo tecnológico se pueden dividir entre aquellas que financian actividades de I+D directamente en las universidades, en el sector privado, o con otros países, y aquellas que incrementan y mejoran la calidad del personal investigador y técnico. Las actividades que apoyan la investigación, el desarrollo, y la demostración tecnológica no pueden evaluarse únicamente según el nivel de financiación: la forma de distribuir esa financiación (la revisión a pares, la creación de comités de selección, el uso de varias fases de selección, los requerimientos), el tipo de incentivo (por ej.: becas, préstamos, o premios), y los tipos de proyectos que reciben la financiación (por ej.: proyectos con distintos tipos de participación público-privada, con distintos horizontes temporales, con distintos tipos de disciplinas científicas) —es decir, el cómo, y no solo el cuánto— son factores muy importantes a la hora de determinar su efecto en la innovación. La habilidad de los gobiernos para convocar, conectar, y guiar a los actores en el proceso de innovación también se encuentra en esta categoría de empuje tecnológico, ya que puede estimular más actividad.

Los instrumentos de apoyo directo a la innovación deben diseñarse para cerrar el hueco que existe entre el coste de la innovación deseada y los fondos que el sector privado está dispuesto a aportar, tratando de hacer aflorar la inversión privada tanto como sea posible (EUI, 2012). Siempre que sea posible, la adjudicación de las ayudas debe tener un carácter competitivo, para mejorar la eficiencia de la inversión y minimizar la intervención pública, dejando la decisión de las mejores opciones tecnológicas a la industria (evitando seleccionar las tecnologías “ganadoras” de antemano). El estudio del EUI también concluyó que deberían condicionarse las ayudas a la consecución de ciertos objetivos medibles. Por otra parte, en algunas ocasiones puede ser preferible apostar por determinadas tecnologías si parece probable que las políticas públicas pueden servir para conseguir de forma rápida y eficaz una transición deseada (que de otra manera llevaría mucho más tiempo o no llegaría a producirse) cuando los fallos de mercados sean muy claros o cuando los beneficios a la sociedad sean importantes.

A continuación se incluyen los tipos más importantes de apoyo directo a la investigación, desarrollo y demostración (I+D+D), especificando para qué contexto, fallo de mercado o barrera a la innovación son más apropiados:

- **Préstamos públicos:** Son adecuados para financiar innovación ejecutada por empresas en la que los costes no son muy elevados y las perspectivas de mercado son razonablemente cuantificables. Ganan relevancia cuando la liquidez de los mercados de capital es baja, en contextos de recesión en los que disminuye la aceptación del riesgo por parte de los inversores privados, o cuando el nivel de información del sistema financiero es muy limitado y no suficiente para entender los riesgos implicados.
- **Participación pública en el capital:** Es adecuada para financiar innovación con altos niveles de riesgo pero potencialmente rentable, especialmente cuando la llevan a cabo pequeñas empresas con dificultades para acceder a financiación privada.
- **Premios:** Son adecuados para financiar la fase inicial de la innovación cuando se puede definir claramente el objetivo pero no el tipo de tecnología más adecuada para conseguirlo. Tienen las ventajas de que atraen a un grupo de innovadores más heterogéneo comparado con otros instrumentos, generan publicidad, y el estado sólo paga si se consigue el objetivo. Este tipo de incentivo está recibiendo mucha atención (Brennan et al., 2011). El Recuadro 1 incluye más información sobre este tipo de incentivo a la innovación.
- **Desgravación fiscal a la I+D:** Estos instrumentos son adecuados para promover innovación de carácter incremental en una fase cercana a la comercialización. El estudio más completo sobre la efectividad de la desgravación fiscal concluye que a largo plazo una reducción en el coste de I+D de un 10% resulta en un incremento en la inversión privada en I+D de casi un 10% (Bloom et al., 2002). El inconveniente es que requieren de una base fiscal sobre la que desgravar, algo que generalmente sólo es posible en el caso de grandes empresas.
- **Subvenciones y contratos:** Estos instrumentos son los más atractivos para los innovadores pero los más costosos para los presupuestos públicos, por lo que sólo debe utilizarse cuando se trate de innovación con un alto beneficio social y que no podría conseguirse con otros instrumentos. Suele ser el caso de proyectos de innovación intensivos en capital antes de alcanzar la fase de implementación. Durante los últimos años la utilización de la demanda de energía de agencias estatales, o la contratación pública, como mercados nicho para conseguir rebajar el alto coste inicial de nuevas tecnologías también ha recibido una atención creciente (John et al., 2010; PCAST, 2010).

Recuadro 1: Premios a la innovación

Los premios pueden ser ex post (reconocimientos tras haberse producido la innovación, como el Premio Nobel), o ex ante (recompensa ofrecida por alcanzar objetivos propuestos para incentivar a que se produzca la innovación). Son estos últimos los que interesan, porque existe poca evidencia de que los primeros sirvan para fomentar la innovación.

Para entender el papel único que pueden representar los premios es útil utilizar una matriz con dos dimensiones (ver Tabla 10). La primera dimensión es la precisión con la cual la entidad interesada en promover la innovación en un área en particular es capaz de articular el objetivo y la tecnología, el objetivo pero no la tecnología, o ninguno. La segunda dimensión hace referencia a quién asume el riesgo de que la inversión en I+D acabe siendo rentable. Esta clasificación implica que los premios no son el instrumento más adecuado para promover cualquier tipo de innovación. En particular, los premios resultan adecuados cuando se conoce el objetivo pero no la solución tecnológica (o, dicho de otra manera, no son el instrumento más adecuado para estimular mejoras incrementales).

Tabla 10: Matriz de la adquisición (o promoción) de innovación

	Objetivo sin especificar	Objetivo conocido	Objetivo y solución conocidas
Los innovadores cargan con todos los riesgos	Patentes	Soluciones del mercado	Compra
Riesgos compartidos entre innovador y agencia interesada en promover innovación	Becas a la investigación	Premios	Contratos de aprovisionamiento

Fuente: Adaptación de (Brennan et al., 2011)

Aunque no todos los premios resulten en un premiado, la información que resulta en las ocasiones en las que ninguno de los concursantes consigue el objetivo puede ser muy valiosa. Los premios pueden incentivar la innovación no sólo por la recompensa monetaria, sino también por el reconocimiento que suponen, especialmente los más prestigiosos (Vaitheeswaran, 2012). Otra ventaja de los premios es que permiten abrir el proceso de innovación al público general, dando acceso a potencial humano que de otra forma permanecería sin explotar. Un ejemplo del uso de premios en este contexto es Innocentive, una plataforma on-line donde las empresas pueden proponer retos abiertos al público (Lakhani et al., 2007). Los premios también permiten la colaboración entre individuos que de otro modo no hubieran tenido oportunidad de unir sus capacidades. Esto sucedió en un premio promovido por Netflix: el equipo ganador estaba compuesto por nueve individuos que no se conocían entre sí. Otro tipo de premios, llamados compromisos de mercado avanzados ("Advanced Market Commitments"), se han utilizado para promover la creación y distribución de vacunas de enfermedades en países en vías de desarrollo.

Los premios pueden inducir una gran inversión privada en I+D. Por ejemplo, el Ansari X-Prize se creó para estimular investigación espacial en el sector privado. El ganador tenía que diseñar y construir una nave capaz de alcanzar una altitud de por lo menos 100 kilómetros dos veces en un intervalo de dos semanas para recibir \$10 millones. El Ansari X-Prize resultó en más de \$100 millones de I+D en el sector privado (Newell y Wilson, 2005). Desde el punto de vista de la Fundación X-Prize, la inducción de esta actividad puede ser muy deseable, ya que el carácter privado de la iniciativa la presume más eficiente. Por ejemplo, y en comparación con la financiación pública de investigación más aplicada, la entidad financiadora no tiene mucho control sobre los gastos una vez que se han repartido los fondos (Cohen y Noll, 1991). Los premios también tienen la ventaja de que en principio la entidad ganadora no tiene por qué tener el apoyo de la clase política o las instituciones de I+D.

Una dificultad inherente a los premios es que es difícil diseñarlos. Por ejemplo, si el criterio para decidir el ganador de un premio es un nivel de reducción de emisiones de CO₂, y hay más de un concursante que consigue ese objetivo, es probable que las tecnologías de los concursantes se diferencien entre ellas en otras cosas. Cuando no se pueda prever a priori todas las características importantes, es difícil decidir qué concursante debería ganar el premio.

Los lectores interesados pueden consultar la revisión de los premios utilizados por el gobierno de Estados Unidos en (Bornstein, 2012).

En relación a la formación de investigadores, hay que prestar mucha atención a las áreas de ciencias y matemáticas en los colegios e institutos de educación secundaria, y al sistema universitario, incluyendo la formación doctoral y postdoctoral. Este informe no está enfocado en esta área, pero no se puede ignorar la importancia de una buena base educativa para preparar al personal investigador.

Políticas públicas de creación de mercado

En cuanto a políticas de innovación de creación de mercado, existen demasiados tipos para describirlos en detalle. Estas políticas están basadas en la teoría de la innovación inducida de Hicks, que propuso que los cambios en los precios relativos de los bienes y servicios espolean la invención. Estos cambios en precios pueden venir de subsidios a la producción o a la instalación de tecnologías, desgravaciones fiscales, de poner precios a las externalidades (afectando el coste relativo de tecnologías contaminantes, por ejemplo), préstamos, políticas de propiedad intelectual, descuentos a productos más eficientes, o estándares. Estos instrumentos son esenciales a la hora de estimular la comercialización de nuevas tecnologías. La razón es que las nuevas tecnologías inicialmente suelen ser más caras que las tecnologías existentes, y que en el caso de la energía no es posible diferenciar el producto basado en atributos físicos, por lo que la señal más poderosa es la de coste o de precio.

Muchos resultados de la literatura encuentran que las políticas públicas de tipo de creación de mercado son más decisivas a la hora de conseguir la difusión de las tecnologías que las propias mejoras tecnológicas creadas por las políticas de apoyo tecnológico (Popp et al., 2011). Sin embargo, también tienen inconvenientes: en general su coste global puede ser mayor (aunque a veces este coste no es explícito), por lo que, a pesar de su efectividad, podrían ser menos rentables. También es más difícil, con este tipo de políticas, apropiarse del valor añadido de la innovación por parte del país que financia la política (un ejemplo es la innovación en energía fotovoltaica financiada por las políticas de apoyo de Alemania o España, y que no necesariamente ha resultado en una apropiación de la tecnología por estos países).

4.2.2. Diseño institucional

Como ya se ha comentado, el tamaño de la inversión es importante, pero es igualmente importante el cómo se usa la inversión. En este sentido, es fundamental el diseño adecuado de las instituciones a través de las que se canaliza la innovación. Este diseño además debe estar adaptado a las características del sector. Como ya hemos avanzado, el sector energético presenta características particulares que deben ser tenidas en cuenta.

Este es un área en la que se ha trabajado especialmente en EEUU, y en menor medida en Europa. Desde el 2005 Estados Unidos ha prestado una atención prioritaria al tipo de organizaciones que están realizando o financiando el I+D+D en el área de la energía. Aunque por razones de tamaño y recursos EEUU no es comparable con España (Estados Unidos puede poner en marcha más iniciativas y financiar más vías tecnológicas), sí que resulta instructivo analizar los parámetros que el gobierno ha utilizado para decidir si existía un hueco de financiación y un hueco en el tipo de innovación que estaban financiando.

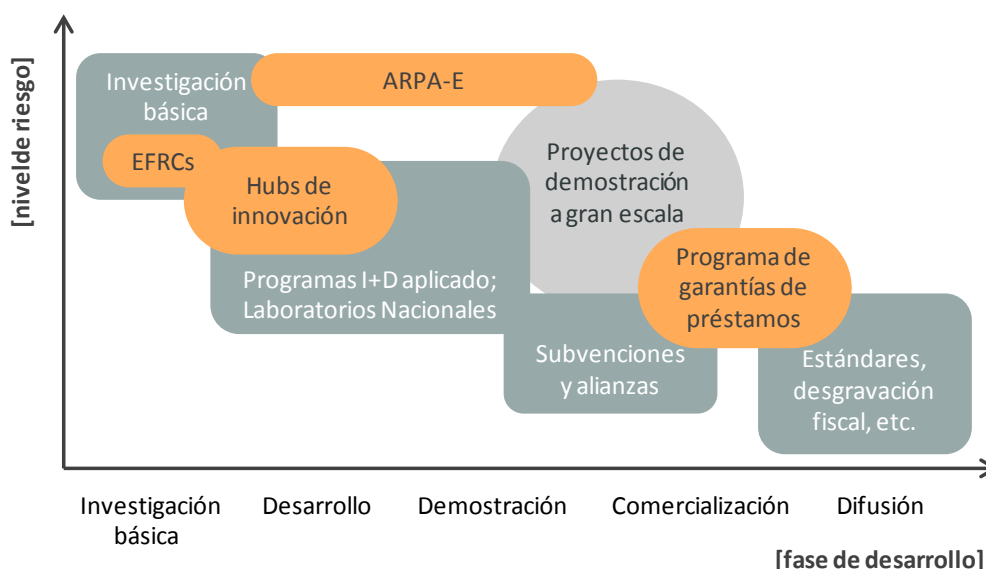
La Figura 6 muestra dos ejes: el nivel de riesgo y la etapa de innovación. Las elipses rojas muestran las entidades creadas en EEUU desde el año 2005 para estimular distintos tipos de innovación. ARPA-E, por ejemplo, se creó porque se determinó que el actual sistema de organizaciones que financiaban y llevaban a cabo I+D+D en el área de la energía no promovía proyectos con mucho riesgo pero que tenían la posibilidad de resultar en grandes avances y mejoras para la sociedad. Como ya se ha mencionado anteriormente, el gobierno puede estar en una situación mejor que los agentes privados para realizar estas inversiones. La creación de los "Innovation Hubs" tuvo el objetivo de financiar grandes grupos de investiga-

ción multidisciplinares trabajando en problemas en los que podía resultar efectiva la integración de varios tipos de ciencia e ingeniería durante un período de tiempo más largo de lo normal en un mismo sitio (Anadon et al., 2012).

Lo que esta figura demuestra es que un estudio sistemático de las intervenciones públicas según el tipo de riesgo y la cercanía a la comercialización tecnológica puede servir para identificar posibles diseños institucionales para las políticas de innovación. Este estudio también debe involucrar a investigadores, emprendedores, y entidades privadas. Una vez identificado este diseño institucional, con sus políticas asociadas, que pueden incluir la creación de un nuevo laboratorio o centro de investigación, es muy importante diseñar programas para evaluar los resultados de la política, y así ajustar y mejorar según se vaya recopilando más información.

Figura 6: Representación esquemática de las instituciones gubernamentales para fomentar la innovación en energía en Estados Unidos.

Los recuadros grises representan programas que se crearon antes de 2005. Los óvalos naranjas corresponden con instituciones más recientes: los *Energy Frontier Research Centers* (EFRCs), ARPA-E y los *Innovation Hubs* se crearon en el 2009, y el programa de garantías de préstamos (el *Loan Guarantee Program*) se creó en 2005, aunque la primera garantía se aprobó en el 2009. El círculo correspondiente a proyectos de demostración a gran escala corresponde a un hueco de financiación que ha sido identificado.



Fuente: (Anadon et al., 2011)

Como ya se ha indicado, un análisis sistémico del proceso de innovación para una tecnología o un grupo de tecnologías puede resultar en la identificación de una falta de interacción entre actores importantes del sistema, en una interacción excesiva que condiciona decisiones en la línea tecnológica equivocada, o en una red de interacciones (o colaboraciones) demasiado cerrada que no permite la entrada de nuevos actores (ver Tabla 1).

Debido a este tipo de consideraciones, durante los últimos años ha habido un número creciente de iniciativas destinadas a la creación de "incubadoras" de tecnologías, a la organización de congresos o conferencias de emprendedores e innovadores, y al diseño de programas de financiación destinados a formar redes y colaboraciones entre entidades que no habían colaborado con anterioridad.

Como ejemplos, el *U.K. Carbon Trust*, creado en el 2001 en el Reino Unido, por ejemplo, tiene una división que se dedica a asesorar (con planes de mercado, servicios auditoría, identificación de posibles proveedores de equipos, e

identificación de posibles fuentes de financiación) a emprendedores en el área de las tecnologías con bajas emisiones de dióxido de carbono. ARPA-E, una nueva entidad que financia proyectos de riesgo en EEUU, ha creado los **ARPA-E Innovation Summits**. Estas conferencias anuales reúnen a emprendedores que han recibido financiación de ARPA-E, pero también a los finalistas, además de a inversores en tecnologías. Estas conferencias han llevado a varios inversores a financiar a empresas emergentes que no habrían llegado a conocer de no ser por la conferencia. Estas, y otras experiencias demuestran que, en muchos casos, simplemente poner en contacto a los actores adecuados es muy valioso.

Finalmente, es importante recordar la importancia en este diseño institucional de un balance correcto y una colaboración entre las iniciativas públicas y privadas, variable en función de la situación en el proceso de innovación. También es imprescindible, más aún en el caso de un país como España, la consideración apropiada de la cooperación internacional en el contexto de las prioridades y objetivos de las políticas de innovación.

4.3

Recomendaciones para una política de innovación en energía en España

A la vista del diagnóstico presentado en este capítulo, y de las alternativas disponibles, ¿cuáles deberían ser las prioridades de una política de innovación en energía que tenga como objetivo fundamental la creación de riqueza nacional?

Estas prioridades deben atacar distintos frentes. Como dice Diego Comin (2012), no en particular para la energía, pero perfectamente aplicable, “Una buena política de innovación no puede centrarse sólo en cuál es el presupuesto o la tasa de subsidio de la I+D. Tiene también que estudiar el diseño óptimo de organizaciones públicas, complejas, que cubran las diferentes áreas tecnológicas de conocimiento y que faciliten a las empresas soluciones a sus problemas tecnológicos. Quizás así se pueda conseguir una pauta de especialización que genere alto valor añadido tanto en el presente como en el futuro”.

El Gobierno español ya ha redefinido en ocasiones su aproximación a la innovación en energía. Por ejemplo, el Programa Ingenio 2010 supuso una apuesta por la innovación en España en el periodo 2005-2010: se introdujeron reformas normativas para fomentar la I+D, se aumentaron los recursos destinados a I+D+i, se creó un sistema de seguimiento y evaluación de las políticas de I+D+i, y se lanzaron cuatro ambiciosas líneas estratégicas (CENIT, Consolider, Avanz@ y Euroingenio). Uno de sus principales objetivos era aumentar la participación empresarial tanto en la inversión en I+D+i como en la ejecución de los proyectos. En particular, los proyectos CENIT supusieron una apuesta por financiar grandes líneas de investigación industrial mediante la colaboración público-privada. Más allá de las acciones concretas planteadas, el Programa Ingenio 2010 supuso un cambio de enfoque en la política de I+D española, que puede resumirse en las ideas de la Tabla 11.

Tabla 11: Cambio de filosofía en la política de I+D con el programa Ingenio 2010

Antigua Política de I+D+i	Ingenio 2010
Individuos	➡ Grupos / Redes / Consorcios
Proyectos específicos	➡ Grandes líneas de investigación
Escasa duración	➡ Larga duración
Proyectos atomizados	➡ Proyectos de gran tamaño y alcance
Bajo riesgo comercial	➡ Mayor riesgo comercial
Evaluación sólo ex-ante	➡ Evaluación ex-ante, intermedia y ex-post

Fuente: www.ingenio2010.es

Sin embargo, estas reformas, aunque positivas, no han podido solucionar todos los problemas: el mayor tamaño de los proyectos ha hecho más difícil su gestión y coordinación, así como su evaluación. Tampoco está claro que se haya resuelto el problema del free-riding en la financiación de la innovación, o en el estímulo a la innovación disruptiva. Por tanto, sigue siendo necesario una reforma de más alcance en el sector de la innovación en energía. Así, las actuaciones en materia de innovación en energía deberían considerar al menos:

- un esfuerzo de educación y comunicación a la sociedad acerca de la importancia de la innovación en energía,
- un análisis estratégico de las prioridades en innovación, de las áreas en las que conviene especializarse en España,
- un aumento de la inversión privada, acompañado de un mayor esfuerzo en promover colaboraciones público-privadas en la ejecución de la I+D,
- un esfuerzo por mejorar el diseño institucional y promover ecosistemas innovadores y de emprendimiento,
- y atención a la coordinación entre política energética y políticas de innovación, y al diseño regulatorio del sector energético para que propicie la innovación.

A continuación desarrollamos más algunas de estas ideas. Sin embargo, hay que recordar aquí que las recomendaciones que aquí se expresan son generales debido a las características del estudio. La implantación de medidas concretas debería venir precedida de un estudio riguroso de las consecuencias para el sistema de innovación español, basado en datos empíricos, no disponibles durante la elaboración de este análisis. Sólo esto permitiría concretar adecuadamente las medidas apropiadas.

Educación y comunicación

En primer lugar, la falta de conocimiento científico sobre la energía y sus implicaciones medioambientales o económicas hace necesario un esfuerzo de educación y comunicación para trasladar a la sociedad la importancia y las consecuencias de invertir en innovación energética. Hay que llevar este mensaje a los medios, y también hacer presente el análisis científico a este respecto en los principales debates sociales y políticos.

En segundo lugar, también es imprescindible un gran trabajo de educación y comunicación para promover la cultura emprendedora en las escuelas y universidades. La cultura emprendedora es clave para crear empresas que innoven en energía, que creen valor añadido para la economía española.

Por último en lo que se refiere a comunicación, también debe reforzarse la difusión de los resultados de innovación, para facilitar su transferencia al sector productivo, y no sólo dentro de las empresas en las que se realiza la innovación financiada con fondos públicos.

Análisis estratégico de prioridades

La segunda gran prioridad es el análisis estratégico de las prioridades a establecer en materia de promoción de la innovación energética. Dado el tamaño de nuestra economía, no podemos pretender ser líderes en todas las tecnologías. Más aún, dada la escasez de fondos públicos, es imprescindible concentrarlos para que sean efectivos. Será necesario pues escoger previamente, bien aconsejados por expertos académicos pero también del mundo empresarial, y en el marco de un ejercicio conjunto en el que se incluya el modelo energético deseado y las políticas para alcanzarlo, así como las implicaciones para la competitividad de las inversiones en innovación, las tecnologías para cuyo desarrollo contamos con ventajas comparativas. Puede ser interesante a este respecto constituir un órgano de apoyo como el que se propone para EEUU, un Consejo de Innovación en Energía.

No se trata de seleccionar tecnologías ganadoras de antemano, pero tampoco tiene sentido financiar la innovación en tecnologías semiagotadas sólo por mantener una infraestructura de investigación, o apoyar tecnologías en las que otros países claramente nos llevan la delantera. A la hora de escoger tecnologías o líneas prioritarias, debe tenerse en cuenta su potencial de mejora, el nicho de mercado, las ventajas comparativas de España y los beneficios que se pueden derivar de ello. Por ejemplo, en tecnologías limpias partimos de una situación más competitiva que en otros (en términos de publicaciones y patentes). En exploración de petróleo también disponemos de tecnologías competitivas a nivel mundial.

Los resultados ofrecidos en el capítulo 3 acerca del potencial de ahorro que ofrecen las distintas tecnologías, su retorno a la inversión, también es un factor muy importante a considerar en este sentido. Como se observa en este capítulo, en términos de ahorro, la tecnología fotovoltaica es la que presenta el máximo potencial (pero con gran incertidumbre), seguido por las tecnologías de captura y secuestro de CO₂ (con menor incertidumbre). En términos de retorno, la fotovoltaica vuelve a ocupar una posición destacada, acompañada de otras tecnologías como la solar concentrada y los biocombustibles, con niveles de retorno máximo similares. El CCS, en cambio, presenta unos niveles de retorno mucho más modestos, en niveles similares a los de las tecnologías de gas. La eólica se encuentra en una posición intermedia, destacando más en términos de retorno que de ahorro. La tecnología nuclear, cuando se permite su instalación, destaca con niveles de ahorro muy significativos, y retornos elevados en el escenario de menor inversión en I+D (bajos en cambio en los escenarios de elevada inversión).

Fomento de la inversión privada

También es imprescindible corregir el desequilibrio entre la inversión pública y la inversión privada. Esto implica tanto el rediseño de los mecanismos de apoyo como el diseño institucional y de las infraestructuras relacionadas. El objetivo último es romper la falsa dicotomía entre inversión pública e inversión privada, de forma que no sirva una para sustituir a la otra, sino que actúen en paralelo, como complementos. Salvo en investigación básica, no se trata de que la inversión pública entre para financiar aquello que no financia la iniciativa privada, sino de que ambas actúen concertadamente para reforzar las tecnologías priorizadas y lograr ese liderazgo tecnológico mencionado con su correspondiente creación de valor. Eso sí, dentro de esta concertación es el sector privado el que debería tener mayor peso, dado el carácter generalmente aplicado de las tecnologías energéticas.

Así, los mecanismos de apoyo deben ir abandonando gradualmente los esquemas habituales de subvención (directa o por vía financiera), ya que, aunque son recomendables para la investigación básica, no parecen adecuados para ser utilizados para empresas e investigación aplicada dada la dificultad de garantizar su uso eficiente, o su correcta difusión. Tiene mucho más poder disruptivo, y por tanto de generación de valor añadido para la sociedad, el introducir mecanismos más abiertos y competitivos, tales como los premios, ya que retribuyen resultados y no el mero gasto; o los incentivos externos como las señales de precio bajo el esquema de innovación inducida (o, lo que es lo mismo, con políticas de creación de mercado). En este caso, es imprescindible que las señales de precio sean estables a largo plazo, para permitir la entrada de inversores privados.

En cualquier caso, los mecanismos deben estar convenientemente adaptados a las características de la tecnología o innovación deseada, fundamentalmente de su situación en la curva de aprendizaje. Las tecnologías menos desarrolladas deberán depender más de políticas de apoyo directo, mientras que las que estén en fase comercial podrán utilizar políticas de innovación inducida, y los proyectos de demostración deberán apoyarse en alianzas público-privadas.

La creación de mercados y oportunidades para las empresas también puede contribuir a esta movilización del sector privado. Eso sí, en estos mercados debe haber el nivel adecuado de competencia que optimice la inversión en innovación. En general, se considera que un nivel demasiado bajo, o demasiado alto, de competencia, desincentiva la inno-

lación (Beneito et al. (2011) lo corroboran para España). Por un lado, la competencia excesiva hace fijarse demasiado a las empresas en recortar costes o en el corto plazo; por otro, la ausencia de competencia, aunque permite disponer de rentas para innovar, elimina el incentivo para hacerlo. Una posible solución intermedia es que sea el Estado el que aporte esos fondos de los que dispone un monopolista, pero que los reparta a las empresas de forma competitiva, y a su vez las ponga a competir en un mercado real. Esto no está libre de problemas, claro: en un entorno competitivo, ¿cómo asegurarnos de que los resultados de la innovación revierten a la sociedad?

Diseño institucional, ecosistema innovador y emprendimiento

Relacionado con esta última cuestión, y moviéndonos ya al terreno de la cuarta línea de actuación que mencionábamos, el fomento de la innovación también requiere el establecimiento de un diseño institucional inclusivo (según la definición de Acemoglu y Robinson), en el que exista una remuneración suficiente para los innovadores y emprendedores, y en el que no resulten sofocados por los extractores de rentas a los que no beneficia la innovación.

También hay que mejorar los procesos de evaluación y rendición de cuentas de los agentes que participan en el sistema innovador y son financiados con dinero público. Aunque evidentemente el proceso innovador es por naturaleza incierto, y los resultados pueden no materializarse, sí que es posible exigir más responsabilidad, trazabilidad y transparencia en el uso de los recursos públicos.

Para mejorar el entorno de la innovación energética también debe prestarse atención al papel de estructuras y centros. Así, la creación de una agencia como la ARPA-E estadounidense, dirigida por personas con espíritu emprendedor, especializada en las innovaciones arriesgadas, y dando apoyo a start-ups energéticas, puede aportar mucho sobre la estructura más bien conservadora existente. También parece apropiado tratar de crear estructuras virtuales, centros de excelencia que, en la línea de la priorización señalada anteriormente, y a la manera de los Energy Innovation Hubs americanos, concentren los esfuerzos de los distintos centros de investigación, universidades, y por supuesto empresas privadas, alrededor de las tecnologías o líneas de innovación identificadas como prioritarias. El modelo seguido por el País Vasco es un referente interesante para esta idea. Otro modelo interesante es el del recientemente creado *International Energy Research Centre* (IERC), un centro de investigación liderado por la industria, financiado por el gobierno, y en colaboración directa con la Universidad, cuyo objetivo es la consecución de innovaciones comerciales en energía. Sería interesante además que estos centros colaboraran con los líderes tecnológicos del futuro, sean europeos, estadounidenses, China o Brasil.

No sólo es importante crear centros punteros en tecnologías prioritarias, también es importante crear el entorno y las relaciones adecuadas para que la innovación pueda surgir desde abajo, fruto de la colaboración entre todos los grupos de interés. A este respecto, es interesante el caso de la eólica en Dinamarca, en el que las redes de cooperación y la comunicación entre industria y grupos de interés (motivado en gran parte por un diseño propicio de los incentivos²) jugaron un papel fundamental para llevar a la tecnología eólica danesa a posiciones de liderazgo en el mercado internacional (Herman, 2012). En este mismo sentido, los clústeres industriales (entendidos como una concentración de empresas de un sector específico en un área geográfica, interconectadas de forma colaborativa entre sí y con suministradores e instituciones locales, y generalmente caracterizados por un fuerte arraigo social en su región) pueden jugar un papel clave para el desarrollo de tecnologías energéticas, como ha demostrado el caso del clúster eólico en el País Vasco.

2 Se incluyeron por ejemplo ventajas fiscales para inversores-productores, derecho a acciones en el parque eólico por parte de la población cercana, etc.

Para completar el ecosistema innovador, es necesario también impulsar el emprendimiento y las fuentes de financiación que lo hagan posible. Los emprendedores pueden jugar un papel clave para generar innovaciones disruptivas y proponer ideas que desafíen verdaderamente el *statu quo*. También tienen la capacidad de enriquecer el tejido productivo y generar empleo y valor añadido. Como modelo de ecosistema emprendedor, resulta llamativo el caso de Israel, que ha conseguido posicionarse como uno de los líderes mundiales en start-ups de tecnologías limpias, a pesar de no tener una política energética que fomente estas tecnologías, y gracias en gran parte a una excepcional movilización de fondos privados de capital semilla (Cleantech-WWF, 2012). Es clave destacar que fue un programa gubernamental el que impulsó inicialmente el capital inversor en Israel (el programa *Yozma*, introducido a principios de los 90), que hoy en día es de los más elevados del mundo.

De hecho, no hay que olvidar que el gobierno puede jugar un papel fundamental como facilitador e impulsor de todas las ideas mencionadas en torno al diseño institucional y a la creación de ecosistemas fértiles en innovación y emprendimiento: estableciendo los incentivos adecuados, apoyando con fondos públicos las iniciativas que lo requieran, favoreciendo un clima de inversión propicio, promoviendo la colaboración entre instituciones, etc.

Atención a la coordinación con la política energética y al diseño de la regulación

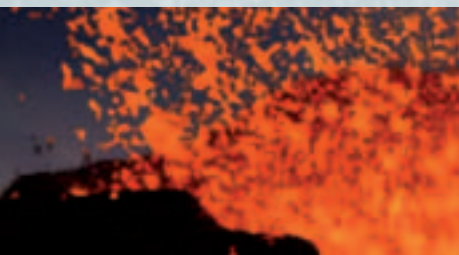
A la hora de diseñar políticas de innovación en energía, es fundamental la coordinación con las políticas energéticas. Esto ya se ha adelantado en parte cuando hablamos de que es necesario compaginar y coordinar políticas de apoyo tecnológico directo y políticas de creación de mercado. Las políticas energéticas pueden marcar el rumbo de las nuevas inversiones en los sistemas energéticos y así actuar, al fin y al cabo, como políticas de creación de mercado con capacidad de inducir innovación. Los incentivos a la instalación de renovables son un claro ejemplo de esto: la decisión de favorecer la instalación de renovables espolea el mercado de las tecnologías renovables, y consecuentemente promueve de forma indirecta innovaciones en el sector. Otro ejemplo puede ser la introducción de un mercado de CO₂: si los precios del CO₂ que se generan llegan a ser suficientemente elevados, suponen un incentivo para innovar en tecnologías bajas en carbono.

Lo ideal sin embargo sería no dejar simplemente que la innovación tenga lugar de forma inducida, sino apoyarla explícitamente con políticas específicas coordinadas con la política energética. Así, por ejemplo, volviendo al caso de las renovables, llama la atención que los fuertes subsidios que España ha destinado a la fotovoltaica no se han traducido en innovaciones relevantes en el sector dentro de nuestro país. Quizás si se hubiesen complementado con políticas de innovación, los resultados podrían haber sido más favorables. Algunas ideas que podrían haberse tenido en cuenta entonces, y que podrían tenerse en cuenta a futuro (muchas relacionadas con líneas de actuación que ya hemos mencionado): se podría priorizar la inversión pública en I+D en aquellas tecnologías promovidas desde la política energética; o se podrían crear centros de excelencia en esas tecnologías que integren y coordinen la I+D realizada; se podrían abrir canales de comunicación y establecer redes de colaboración entre los instaladores-operadores de las tecnologías, las empresas vinculadas a su producción dentro del país y los grupos de investigación relacionados, de tal forma que pueda aprovecharse el conocimiento que se genera en las fases de instalación y operación para alimentar las fases de investigación y desarrollo.

Por último, es importante notar la importancia que puede tener la regulación en el sector energético a la hora de limitar o fomentar la innovación, muy particularmente en el sector eléctrico. Mientras que en la mayoría de los sectores las expectativas de remuneración de la innovación dependen directamente de las condiciones del mercado, en el sector eléctrico dependen en gran medida de las condiciones regulatorias. El caso más claro es el de las actividades reguladas de transmisión y distribución de la electricidad, remuneradas a tarifa. Para motivar la innovación en estas actividades, sería necesario introducir incentivos a la innovación en su esquema de remuneración (como se hace por ejemplo el

esquema de remuneración RIIIO implementado en Reino Unido). En la parte de generación eléctrica, además de mejorar las políticas de creación de mercado que ya han existido, se podría facilitar la entrada de nuevos agentes, por ejemplo, eliminando trabas para la conexión de generación distribuida, que podría ser un terreno fértil para la innovación. En la parte de consumo final, también existen barreras para la entrada de nuevos agentes para la entrada de nuevos agentes potencialmente innovadores (ESCOs, agregadores, o start-ups para gestión de consumos), que la regulación podría ayudar a superar.

En un contexto en el que la innovación es un elemento cada vez más esencial de la política económica de un país, como factor de competitividad, el gobierno debería analizar cuidadosamente estas opciones para tratar de alcanzar un modelo energético seguro, respetuoso con el medio ambiente, y competitivo. Ahora bien, como decíamos anteriormente, será necesario seguir trabajando en el análisis detallado de estas recomendaciones, con los datos empíricos suficientes, tanto para definir su diseño adecuado como para evaluar su rendimiento y expectativas.



[05]



Conclusiones



Como ya se señalaba en la introducción, la innovación en energía es esencial para alcanzar un sistema energético respetuoso con el medio ambiente, con un bajo riesgo de precios, y todo ello a un coste asequible, competitivo para la economía. Además, para un país como España, la innovación en si misma puede contribuir a crear nuevas áreas de negocio y actividad, a generar valor añadido y empleo, y en general, a hacer a nuestro sector productivo más robusto y más competitivo. En momentos de crisis como el actual, esta necesidad es aun más perentoria, así como la importancia de ser más eficientes que nunca en el uso de los recursos públicos.

Y sin embargo, en España no innovamos lo suficiente en tecnologías energéticas. Esto nos impide crear riqueza basada en este desarrollo tecnológico, para el que por otra parte tenemos una situación privilegiada, en parte por la gran inversión realizada en los últimos años en tecnologías limpias. También, por supuesto, nos impide realizar los ahorros de coste en el sistema energético.

En el caso español, y tal y como muestran los resultados ofrecidos en el capítulo 3, los ahorros obtenidos para el sistema energético español pueden llegar a ser más de cincuenta veces superiores a la inversión en I+D para algunas tecnologías, aunque con un alto nivel de incertidumbre (cabe la posibilidad de que no se consigan materializar reducciones de costes significativas en las tecnologías y que los retornos sean nulos en consecuencia). También es cierto que algunas tecnologías no consiguen ahorros ni retornos significativos en ninguno de los escenarios (por ejemplo, las baterías, que según nuestros escenarios no llegan a niveles de reducción de costes que hagan a los vehículos eléctricos competitivos respecto a los de biocombustible).

El objetivo del presente informe ha sido analizar las razones por las que no somos capaces de materializar estos beneficios, y proporcionar algunas recomendaciones para su eventual mejora.

El diagnóstico que resulta de este análisis no es muy positivo. Hay dos razones fundamentales para ello, señaladas en el texto: en primer lugar, la falta de volumen de financiación, y en particular de inversión privada; y en segundo lugar, la ausencia de un ecosistema innovador robusto. En particular, las principales deficiencias detectadas acerca del sistema español de innovación en energía son:

- bajo nivel absoluto de la inversión en innovación en energía, y además una gran parte de ella se canaliza como gasto financiero, poco apropiado,
- baja contribución de la inversión privada,
- baja producción innovadora, no tanto en términos de publicaciones como de patentes o exportaciones,
- poca popularidad o conocimiento científico acerca de la energía en la sociedad española,
- baja cultura emprendedora de la sociedad

Parece prioritario pues reforzar y redirigir la inversión en innovación energética, y activar la inversión privada, creando un entorno que promueva la innovación en un ambiente de emprendimiento. Las acciones prioritarias identificadas en el informe para alcanzar estos objetivos son:

- un esfuerzo de educación y comunicación a la sociedad acerca de la importancia de la innovación en energía,
- un análisis estratégico de las prioridades en innovación, de las áreas en las que conviene especializarse en España,
- un aumento de la inversión privada, acompañado de un mayor esfuerzo en promover colaboraciones público-privadas en la ejecución de la I+D,
- un esfuerzo por mejorar el diseño institucional y promover ecosistemas innovadores y de emprendimiento,
- y atención a la coordinación entre política energética y políticas de innovación, y al diseño regulatorio del sector energético para que propicie la innovación.

El reto está ahora en concretar estas recomendaciones en forma de actuaciones específicas. Aunque en el texto se elaboran en más detalle las recomendaciones, será imprescindible investigar más tanto en el diseño como en la evaluación de las actuaciones deseables.

En cualquier caso, es importante recordar en estas conclusiones tres aspectos. En primer lugar, que el proceso innovador es por naturaleza incierto. Por tanto, no debe ser evaluado únicamente por sus resultados concretos, que pueden depender en mayor o menor medida de la suerte, sino por su buen diseño y su robustez. En este sentido, los sistemas de apoyo flexibles, que controlen el riesgo de fracaso, pero a la vez permiten apostar por tecnologías potencialmente disruptivas, son preferibles a los esquemas conservadores que difícilmente traerán estas mejoras.

En este sentido, una extensión natural de este informe sería la construcción de un portafolio robusto de tecnologías en las que invertir, con distintos niveles de riesgo, y también distintos instrumentos, para tratar de maximizar el retorno tanto en términos de ahorros de coste para nuestro sistema energético como de creación de tejido empresarial e industrial. Dicho ejercicio debería plantearse en el seno de una reflexión estratégica de largo plazo, dado el gran volumen y tiempos de maduración de las tecnologías energéticas.

En segundo lugar, el informe plantea un cambio significativo en el papel de las administraciones públicas, que de un esquema tradicional de subvención de la I+D deben pasar a un papel más activo como dinamizadoras del intercambio de conocimiento, como inductoras de la innovación en la empresa, y como facilitadoras del proceso de planificación estratégica ya mencionado. Los casos ya mencionados del gobierno vasco, o de Israel, pueden proporcionar referencias de interés en este sentido.

Finalmente, hay que recordar la naturaleza exploratoria de este informe. Un tema de tanto calado como éste no puede resolverse sin recurrir a análisis más profundos. En este sentido, el objetivo del informe era llamar la atención sobre los principales problemas y las acciones a emprender. Pero su correcto desarrollo e implantación requiere más estudios. El trabajo de Anadón et al (2011) citado repetidamente es una buena referencia a este respecto: es necesario estudiar casos de innovación concretos en España, realizar análisis cuantitativos de la relación entre inputs y outputs, evaluar la percepción y el modo de proceder de las empresas, etc. Para esto evidentemente sería muy deseable poder disponer de datos más fiables o actualmente inexistentes. Y también, por supuesto, de algo que ya mencionábamos en otras secciones: el incorporar el análisis científico a la toma de decisiones políticas. En cualquier caso, los autores ya están trabajando en estas extensiones, y confían en ofrecer actualizaciones del informe en los próximos años.



[06]

Anexos

- A. Acrónimos y abreviaturas**
- B. El sistema español de innovación**
- C. Datos y limitaciones**

A

Acrónimos y abreviaturas

CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial
EJC	Equivalente a Jornada Completa (en referencia a personal contratado)
EPO	European Patent Office / Oficina Europea de Patentes
FECYT	Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología
FUE	Fundación Universidad-Empresa
ICTS	Instalaciones Científicas y Tecnológicas Singulares
I+D+D	Investigación, desarrollo y demostración
IPSFL	Instituciones Privadas Sin Fines Lucrativos
IUS	Innovation Union Scoreboard
INE	Instituto Nacional de Estadística
OPI	Organismo Público de Investigación
OTRI	Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación
PCT	Patent Cooperation Treaty / Tratado de Cooperación en materia de Patentes
SET-Plan / Plan SET	Strategic Energy Technology Plan / Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética
UE-17	Conjunto de los 17 países que forman parte de la zona euro dentro de la Unión Europea: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Malta, Países Bajos y Portugal.
UE-27	Conjunto de los 27 países que forman la Unión Europea: Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rep. Checa, Rumanía y Suecia.
7PM	Séptimo Programa Marco de la Unión Europea

Han aparecido otros acrónimos correspondientes a centros de investigación, centros tecnológicos y otras instituciones, que no se incluyen en esta tabla por brevedad (ya han sido convenientemente descritos en el texto cuando resultaba relevante).

B

El sistema español de innovación

Para contextualizar la innovación en energía en el marco más amplio del conjunto del sistema de innovación español, se recoge en este anexo un análisis de algunos aspectos fundamentales para entender la situación general de la innovación en España, como son el marco político general, los niveles de inversión o la comparación de diversos indicadores con otros países. Para un análisis mucho más detallado de indicadores de innovación en España, los lectores interesados pueden acudir al *Informe Cotec: Tecnología e Innovación en España* (Cotec, 2012).

i. Políticas de innovación

Marco europeo

En la denominada *Estrategia de Lisboa* firmada en el año 2000, la Unión Europea se marcó el objetivo de convertirse en la “economía basada en el conocimiento más dinámica y competitiva del mundo”, y puso de manifiesto su compromiso de apostar por el triángulo “investigación - educación - innovación” como pilar de la economía del conocimiento (Comisión Europea, 2009c).

Diez años después, motivada por la crisis económica, la Comisión Europea publicó la llamada *Estrategia Europa 2020* para potenciar un crecimiento económico “inteligente, sostenible e inclusivo” en la Unión Europea. La Estrategia Europa 2020 incluye entre sus iniciativas bandera la “Unión de la Innovación,” que resalta la importancia de seguir invirtiendo en innovación también durante etapas de dificultades presupuestarias (Comisión Europea, 2010). Los objetivos incluyen invertir un 3% del PIB de la Unión Europea en I+D en el 2020.

A nivel europeo, el Séptimo Programa Marco (7PM) agrupa todas las iniciativas comunitarias relativas a la investigación y constituye un pilar fundamental para perseguir los objetivos de crecimiento, competitividad y empleo de la Unión Europea, junto con el Programa Marco para la Competitividad y la Innovación (CIP), programas de educación y formación, y Fondos Estructurales y de Cohesión para promover la convergencia y competitividad de todas las regiones europeas (Comisión Europea, 2012). Las Plataformas Tecnológicas Europeas (ETPs según sus siglas en inglés), impulsadas dentro del PM, reúnen a los principales agentes implicados¹ para proponer un marco para el desarrollo de una tecnología y definir prioridades de I+D y planes de acción (Idea Consult, 2008). También juega un papel muy relevante el Espacio Europeo de Investigación (ERA), que pretende coordinar y potenciar la investigación a nivel europeo (Comisión Europea, 2011d).

En España

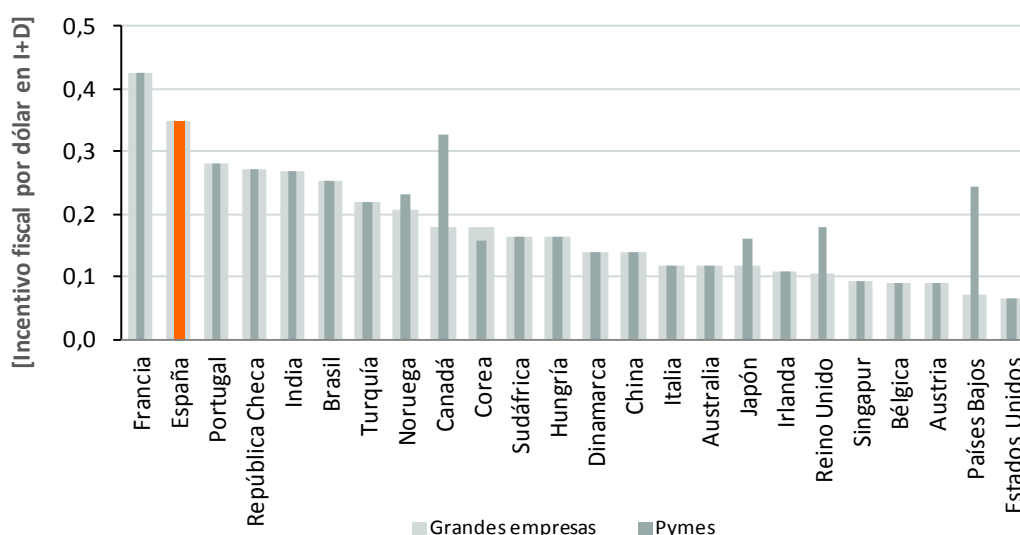
En España, la apuesta por el “triángulo del conocimiento” promovida a nivel europeo ha estado también muy presente en los últimos años, al menos a nivel retórico, y se han realizado esfuerzos para llevar al sistema de I+D+i español a converger hacia los niveles medios en la Unión Europea (Buesa, 2006). Sin embargo, los estudios parecen indicar que el desempeño actual de España está muy por debajo del de los países líderes en innovación (INSEAD, 2011), e incluso por debajo de la media europea (INNO-metrics, 2011). La crisis financiera que comenzó en el 2007 no ha hecho más que empeorar la situación. El presupuesto público de I+D en este último año (2012) se redujo un 26% respecto al año anterior (2011), y un 34% respecto al máximo alcanzado tres años antes (2009) (FECYT-ICONO).

1 Reguladores, industria, autoridades públicas, comunidad académica, inversores y sociedad civil.

A nivel nacional, los objetivos generales e indicadores que deberían regir las políticas y programas de I+D+i a medio plazo quedan definidos en la Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT) y la Estrategia Estatal de Innovación (E2I). El marco general para el fomento y la coordinación de la I+D+i queda recogido en la *Ley 14/2011 de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación* (que deroga a la anterior Ley de Investigación Científica y Tecnológica de 1986). Los objetivos específicos, políticas y programas de acción a corto-medio plazo se definen en planes como el *Plan Nacional de I+D+i 2008-2011*, vigente hasta que sea aprobado un nuevo Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica. Cabe destacar que, desde un punto de vista amplio, política de innovación no es sólo política de I+D+i: las políticas de comercio internacional, inmigración, competitividad, etc. afectan también a la innovación (Atkinson et al., 2012). Entendidas de este modo, las políticas de innovación españolas estarían, según el *Global Innovation Policy Index* presentado por ITIF y la Fundación Kauffman, en la parte media-alta de la clasificación a nivel mundial. Al analizar los diversos aspectos de las políticas públicas que afectan a la innovación, se observan posicionamientos heterogéneos: según este estudio, España formaría parte del grupo en la parte alta de la clasificación en cuanto a políticas de ciencia e I+D y políticas de comercio e inversión extranjera, en la parte media-alta en cuanto a políticas sobre propiedad intelectual, compras públicas y TICs, en la parte media-baja en cuanto a políticas de competitividad a nivel doméstico, y en la parte baja en cuanto a políticas de migración de personal cualificado (Atkinson et al., 2012).

Como ejemplo de aspecto positivo para fomentar la innovación, España ha destacado en los beneficios fiscales ofrecidos a la inversión privada en I+D (desgravaciones sobre el volumen e incremento del gasto en I+D, por salarios de personal investigador, por compra de equipos y material para la investigación, etc.). El Gráfico 43 representa una comparación de los incentivos fiscales en países de la OECD en el año 2008. Como ejemplo de aspecto negativo de cara a la innovación, España presenta de los niveles más bajos en la relación entre productividad y salario (Atkinson et al., 2012).

Gráfico 43: Incentivo fiscal por cada dólar invertido en I+D, Países OECD 2008



Fuente: (OECD, 2009)

ii. Diferencias regionales

El sistema de innovación español es heterogéneo, existiendo diferencias notables a nivel autonómico y regional. El Gráfico 44, que muestra una representación del desempeño en innovación de las regiones europeas según el *Innovation Union Atlas* (Comisión Europea, 2011e), ilustra este hecho. En él puede verse como la mayoría de las comuni-

dades autónomas españolas muestran un nivel medio-bajo de desempeño, pero existen comunidades como Cataluña, Madrid, País Vasco y Navarra con desempeño medio-alto.

Gráfico 44: Mapa del desempeño en innovación en regiones de la UE

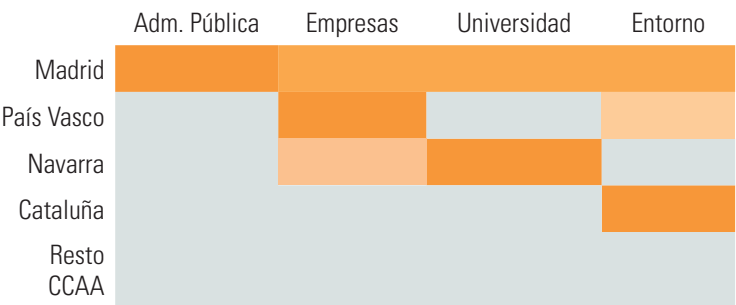


Fuente: Innovation Union Atlas (Comisión Europea, 2011e)

(Buesa et al., 2002) categorizaron los sistemas regionales de innovación españoles según el peso relativo en la innovación del entorno productivo, las empresas, las Universidades y la Administración Pública. Aunque en la década que ha transcurrido desde el estudio los sistemas regionales han seguido evolucionando, su descripción en términos cualitativos (reflejada en el Gráfico 45) resulta útil para tener una primera idea general de las diferencias: en Cataluña destaca el entorno regional y productivo como factor de innovación, en Navarra el peso de la Universidad, en País Vasco el papel de las empresas, y en Madrid el eje articulado en torno a la Administración Pública en temas de I+D (aunque en el caso de Madrid los otros tres factores también son relevantes).

Gráfico 45: Caracterización de los sistemas de innovación regionales en España según el peso relativo del papel de la Administración Pública, la Universidad, las empresas y el entorno productivo

(La intensidad del color refleja de forma cualitativa el factor/sector con más peso relativo)



Fuente: Elaboración propia basado en (Buesa et al., 2002)

Los mapas de indicadores de I+D+i a nivel regional disponibles en la web de FECYT-ICONO nos dan una idea de la situación actual por comunidades autónomas. Como ilustra el Gráfico 46 utilizando datos de 2010, las regiones en las que el gasto total (público y privado) en I+D tiene más peso (como porcentaje de su PIB) son Madrid (2,02%), Navarra (1,97%) y País Vasco (1,95%); las regiones con más investigadores son Madrid (cerca de 32.000 investigadores equivalentes a jornada completa (EJC)) y Cataluña (unos 27.000 investigadores EJC); y la comunidad que con diferencia tiene un mayor número de empresas que han conseguido innovaciones tecnológicas² es Cataluña (cerca de 7.000 empresas).

Gráfico 46: Mapas de factores de innovación, Comunidades Autónomas 2010



Fuente: (FECYT - ICONO, 2012)

Las políticas públicas a nivel autonómico han sido por supuesto un factor destacado a la hora de determinar diferencias entre los sistemas de innovación regionales. Así, por ejemplo, mientras que la política regional de ciencia, tecnología e innovación ha estado orientada sobre todo a centros públicos y universidades en comunidades como Madrid, Cataluña, Andalucía o Galicia, en el País Vasco las políticas de I+D+i han tenido un enfoque mucho más industrial y se ha puesto el énfasis en centros tecnológicos y empresas (Cruz-Castro et al., 2004). (OECD, 2011) ofrece un análisis de cómo se reparten las competencias en ciencia, tecnología e innovación entre el gobierno estatal y los gobiernos autonómicos.

iii. Inversión y gasto en I+D

En esta sección se analiza el gasto total en I+D, la inversión pública en I+D y la inversión privada en I+D. Antes de nada, conviene distinguir entre los términos de gasto en I+D e inversión en I+D: mientras que gasto suele hacer referencia a la I+D ejecutada en un país (según los datos declarados por las organizaciones que realizan I+D: empresas, OPIs, centros de investigación, etc.), inversión suele hacer referencia a la I+D que un país financia por fuentes públicas y/o privadas (según los datos declarados por organismos públicos y empresas que invierten en I+D). Los datos de inversión total y gasto total no suelen coincidir, porque las instituciones de un país pueden financiar I+D fuera de sus fronteras, y las actividades de I+D de un país pueden recibir fondos extranjeros.

Gasto total en I+D

El Gráfico 47 nos aporta una visión general del nivel de gasto en I+D (en relación al tamaño de la economía de cada país) a nivel mundial. España aparece con un tono intermedio, con un nivel de gasto en I+D que en 2008 representó el 1,4% de su PIB, por debajo de la media mundial estimada en el 2,1%, y muy por debajo de Finlandia y Suecia que se situaron a la cabeza con un 3,7% (World Bank, 2012).

² Medido como el número de "empresas que han introducido en los últimos tres años productos tecnológicamente nuevos o mejorados en el mercado, o procesos tecnológicamente nuevos o mejorados en sus métodos de producción de bienes o de prestación de servicios", según la Encuesta sobre Innovación en las Empresas realizada por el INE.

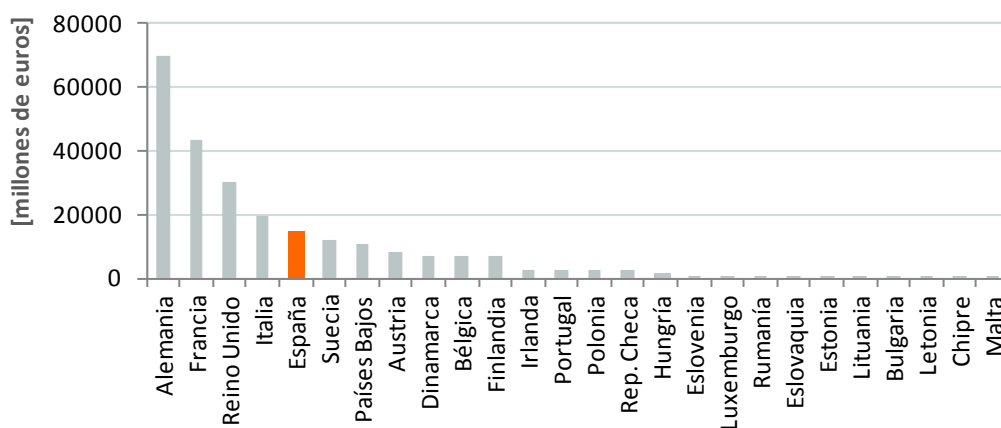
Gráfico 47: Gasto en I+D como porcentaje del PIB; 2007-2011

[escala de color: más oscuro implica mayor valor cuantitativo]

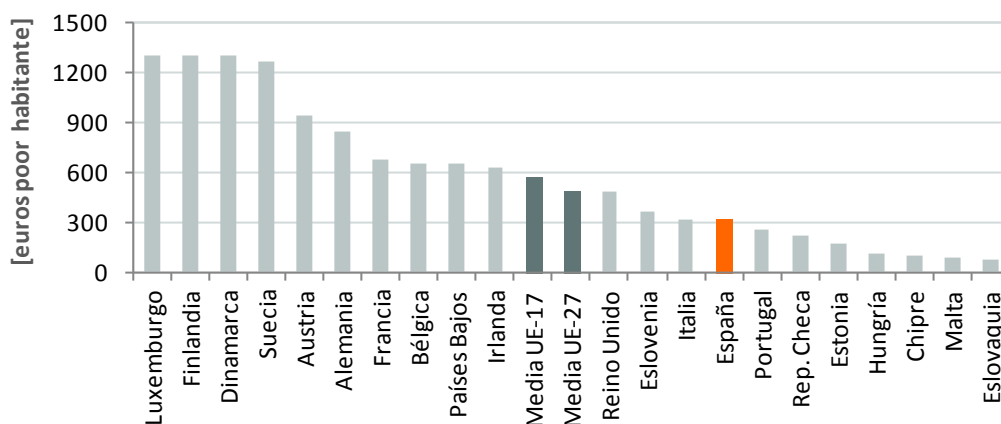


Fuente: World Databank (World Bank, 2012)

A nivel europeo, y según datos de 2010, **España ocupa una posición destacada en términos absolutos de gasto en I+D**: como puede verse en el Gráfico 48, el sistema de I+D español se sitúa el quinto de la UE en volumen de gasto en I+D. Sin embargo, **cuando se relativizan estos datos en función de la población, España aparece entre los países de cola de la UE**: como puede verse en el Gráfico 49, con sus 320 euros de gasto en I+D por habitante, España se sitúa en la posición decimocuarta a nivel europeo (por debajo de la media de la UE y por detrás de todos los países de referencia).

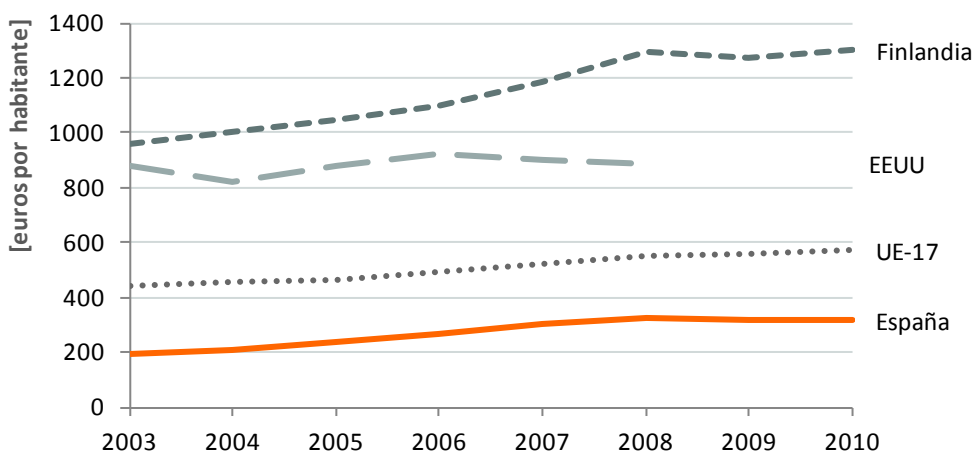
Gráfico 48: Gasto intramuros en I+D – Comparativa de países de la UE, 2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Gráfico 49: Gasto intramuros en I+D per cápita - Comparativa de países de la UE, 2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

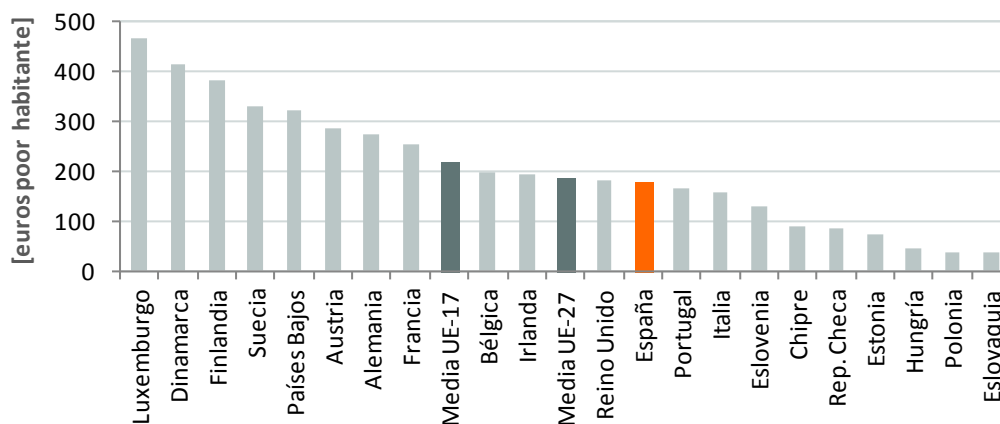
El Gráfico 50 muestra la evolución del gasto per cápita en I+D en varios países en el periodo 2003-2010. Puede verse como, en 2010, el **gasto total en I+D producida en España fue de unos 320 euros por habitante (frente a los 1300 euros por habitante en Finlandia)**. La cifra para España supone sólo un 55% del gasto medio en la Zona Euro, un 37% del gasto en Estados Unidos, y un 24% del gasto en Finlandia.

Gráfico 50: Evolución del gasto total en I+D - España, UE-17 (media de los países de la Eurozona), Finlandia y Estados Unidos, 2003-2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

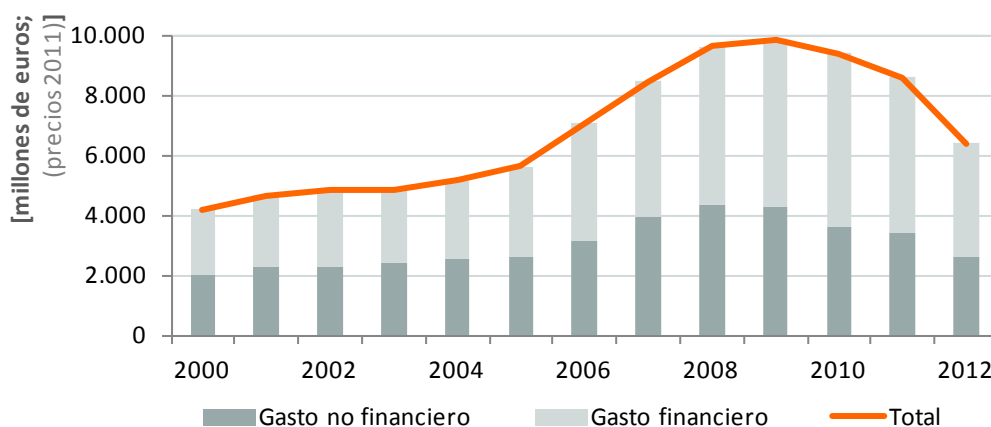
Inversión pública

Cuando se compara el nivel de inversión pública en I+D per cápita entre países de la UE, España se sitúa por debajo de la media de la UE, invirtiendo aproximadamente la mitad que países como Dinamarca o Finlandia. Esto puede verse en el Gráfico 51.

Gráfico 51: Presupuesto público en I+D por habitante – Comparativa de países de la UE, 2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

El Gráfico 52 ilustra la evolución del presupuesto público español de I+D desde el 2000 hasta el 2012. Pueden identificarse tres fases: una fase en la que el presupuesto aumenta ligeramente (2000-2005), una fase en la que el presupuesto aumenta drásticamente, llegando prácticamente a duplicarse en tan sólo tres años (2006-2009), y una fase de disminución del presupuesto (2010-2012). Es particularmente significativa la caída del presupuesto público de I+D en este último año (2012), en el que la caída ha sido del 26% respecto al año anterior (2011), y del 34% respecto al máximo alcanzado tres años antes (2009).

Gráfico 52: Evolución del presupuesto público de I+D; España 2000-2012

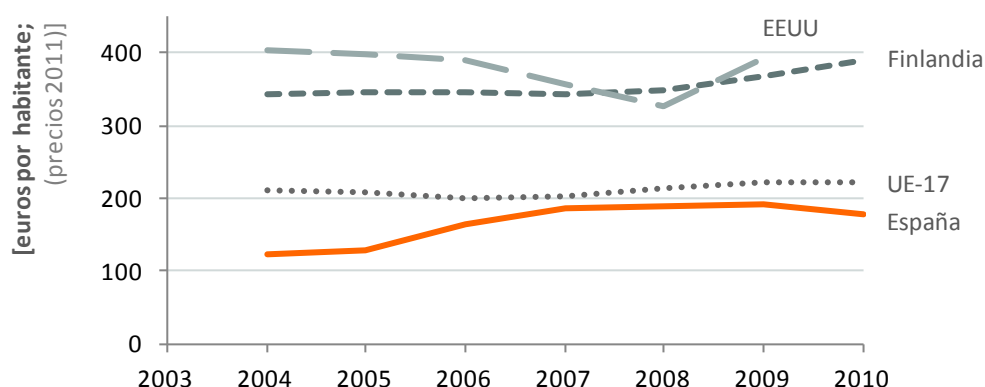
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FECYT-ICONO (FECYT- ICONO, 2012)

El Gráfico 52 también sirve para ilustrar la proporción entre el gasto financiero y el gasto no financiero en los presupuestos públicos de I+D. Los gastos financieros son los correspondientes a los capítulos VIII y IX de los Presupuestos Generales del Estado, que en la práctica, corresponden fundamentalmente a préstamos y anticipos reembolsables. En el periodo 2000-2012, la fracción del gasto financiero ha sido de entre el 52% y el 61%, con una tendencia a aumentar en los últimos años (y reducirse por tanto la proporción de gasto no financiero, que alcanzó su mínimo en el 2010 y 2011 con un 39%).

El Gráfico 53 muestra la evolución de los presupuestos públicos en I+D per cápita en el periodo 2004-2010, para España y otros países que permiten su comparación: Estados Unidos, la media de los países de la zona euro (UE-17) y Finlandia (como referente de los más altos niveles de inversión en I+D per cápita en la Unión Europea. Se observa que **los 180 euros (aprox.) por habitante que se invierten desde la Administración Pública española en I+D son del orden de la mitad de lo que se invierte en países como Finlandia y Estados Unidos, y la diferencia tiende a acentuarse.**

Analizando la evolución, puede observarse como hasta 2007 España ha ido aproximándose a los niveles medios de inversión pública per cápita de la Eurozona, para empezar a distanciarse levemente entre los años 2007 y 2009 (por ser la tasa de crecimiento de la inversión en España, aunque positiva, ligeramente inferior a la tasa media de la Eurozona), y acrecentar esa diferencia en el año 2010 (por efecto de la caída de la inversión pública per cápita en España). Como se verá más adelante, esta trayectoria negativa iniciada en 2010 se ha acentuado en los últimos dos años.

Gráfico 53: Inversión pública en I+D en los últimos años para España, UE-17 (media de los países de la Eurozona), Finlandia y Estados Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Una observación relevante respecto a la inversión pública en I+D es que **existe una diferencia significativa entre el gasto presupuestado y el gasto ejecutado**, que además se ha incrementado en los últimos años. Los datos de ejecución de los presupuestos de I+D para los años 2009, 2010 y 2011 se recogen en la Tabla 12. En el 2011, no llegaron a ejecutarse 3.017 millones de euros (recursos no gastados y que vuelven a las arcas del Estado). Esto supone que **tan sólo el 57% del gasto presupuestado** reflejado en la Política de Gasto 46 (PG 46) **se hizo efectivo** (Molero y De Nó, 2012). Los fondos no ejecutados corresponden fundamentalmente a créditos financieros que quedan sin asignar por falta de empresas que concurran a ellos.

Tabla 12: Ejecución de los presupuestos de I+D; España 2009-2011

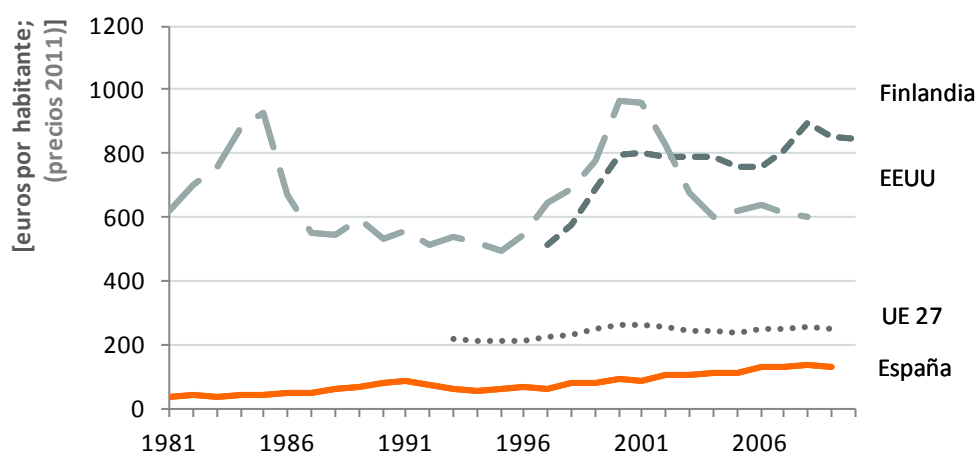
(año)	2009	2010	2011
Remanente de Crédito PG 46 (millones de euros)	1730	2362	3017
Porcentaje de ejecución de la PG 46	79%	69%	57%

Fuente: (Molero y De Nó, 2012)

Inversión privada

Dado que apenas existen datos de inversión privada en I+D³, se va a tratar de analizar la inversión privada en I+D a partir de la siguiente aproximación: se estima la inversión en I+D de las empresas como la fracción del gasto en I+D ejecutado en las empresas que ha sido financiada mediante fondos privados. El Gráfico 54 representa la inversión privada en I+D per cápita bajo este supuesto. Muestra una inversión en España de 126 euros por habitante en 2009: el 52% de la media de la UE, el 21% de Estados Unidos y el 15% de Finlandia.

Gráfico 54: Gasto en I+D en las empresas financiado con fondos privados; Varios países 1981-2010



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

3 Si existen datos del gasto de I+D ejecutado en las empresas, e.g. Business Enterprise R&D expenditure (BERD) en Eurostat y OECD.

iv. Comparación internacional

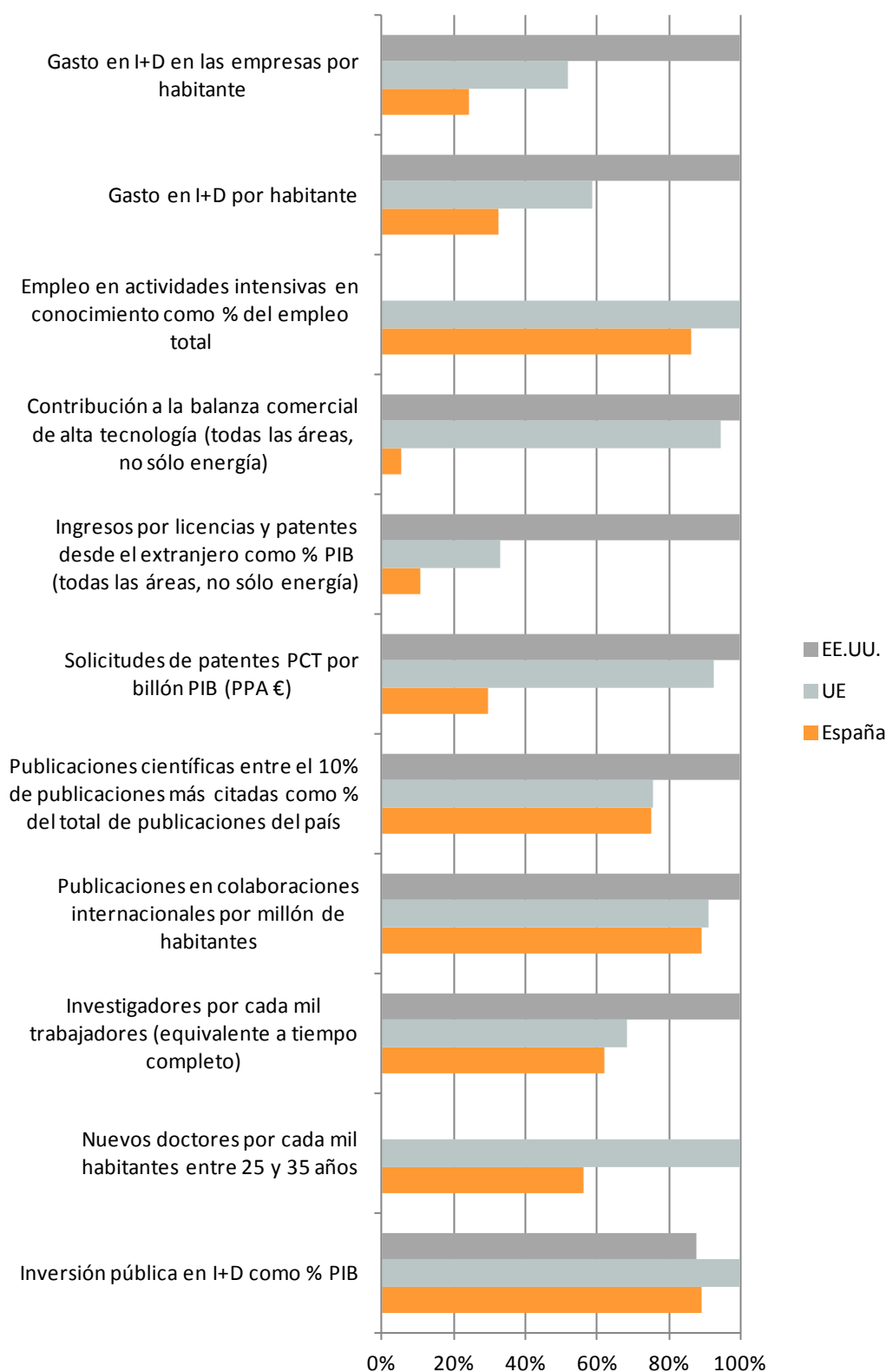
Resumen de indicadores

La Tabla 13 muestra un resumen de indicadores de innovación que permiten comparar España con la Unión Europea y Estados Unidos. El Gráfico 55 presenta esta comparación de forma gráfica.

Tabla 13: Resumen de indicadores de innovación; España, UE, EE.UU. 2009

	España	UE	EE.UU.
Gasto en I+D como % del PIB	1,38%	2,01%	2,77%
Gasto en I+D por habitante	318,20 €	557,70 €	936,70 €
Gasto en I+D en las empresas como % PIB	0,72	1,25	2,01
Gasto en I+D en las empresas por habitante	165,1 €	344,4 €	648,6 €
Inversión pública en I+D como % PIB	0,66%	0,74%	0,65%
Nuevos doctores por cada mil habitantes entre 25 y 35 años	0,9	1,6	1,6
Investigadores por cada mil trabajadores (equivalente a tiempo completo)	5,7	6,3	9,2
Publicaciones en colaboraciones internacionales por millón de habitantes	437	447	491
Publicaciones científicas entre el 10% de publicaciones más citadas como % del total de publicaciones del país	11,5%	11,6%	15,3%
Solicitudes de patentes PCT por billón PIB (PPA €)	1,28	4,00	4,32
Ingresos por licencias y patentes desde el extranjero como % PIB (todas las áreas, no sólo energía)	0,07%	0,21%	0,64%
Contribución a la balanza comercial de alta tecnología (todas las áreas, no sólo energía)	0,3%	5,1%	5,4%
Empleo en actividades intensivas en conocimiento como % del empleo total	30,3%	35,1%	-

Fuente: (Comisión Europea, 2011a), y elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Gráfico 55: Resumen de indicadores de innovación; España, UE, EE.UU. 2009

Fuente: Adaptación de (Comisión Europea, 2011a), y elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Indicadores compuestos

La valoración de diferentes aspectos de los sistemas de innovación de los países europeos realizada en la *Innovation Union Scoreboard* (IUS) 2011 (INNO-metrics, 2011), expresada en indicadores estimados a partir de datos disponibles objetivos⁴, resulta útil a la hora de caracterizar el sistema de innovación español y entender cómo se compara con los sistemas de innovación en otros países. El Gráfico 56 representa la comparación entre España, la media de la UE y Suecia (como país que obtuvo la máxima puntuación) en los principales indicadores, mientras que el Gráfico 57 representa el posicionamiento de España respecto a la media de la UE para todos los indicadores considerados.

Según este estudio, las fortalezas relativas del sistema de innovación español están en su sistema de investigación (sobre todo en cuanto a publicaciones científicas en colaboración internacional), y en menor medida y todavía por debajo de la media europea, en financiación y apoyo, y en efectos económicos (excepto en ingresos por uso de patentes y licencias en el extranjero). Sus debilidades relativas se encuentran en la inversión de las empresas, en innovación en las empresas, y en redes y emprendimiento (*ibid*).

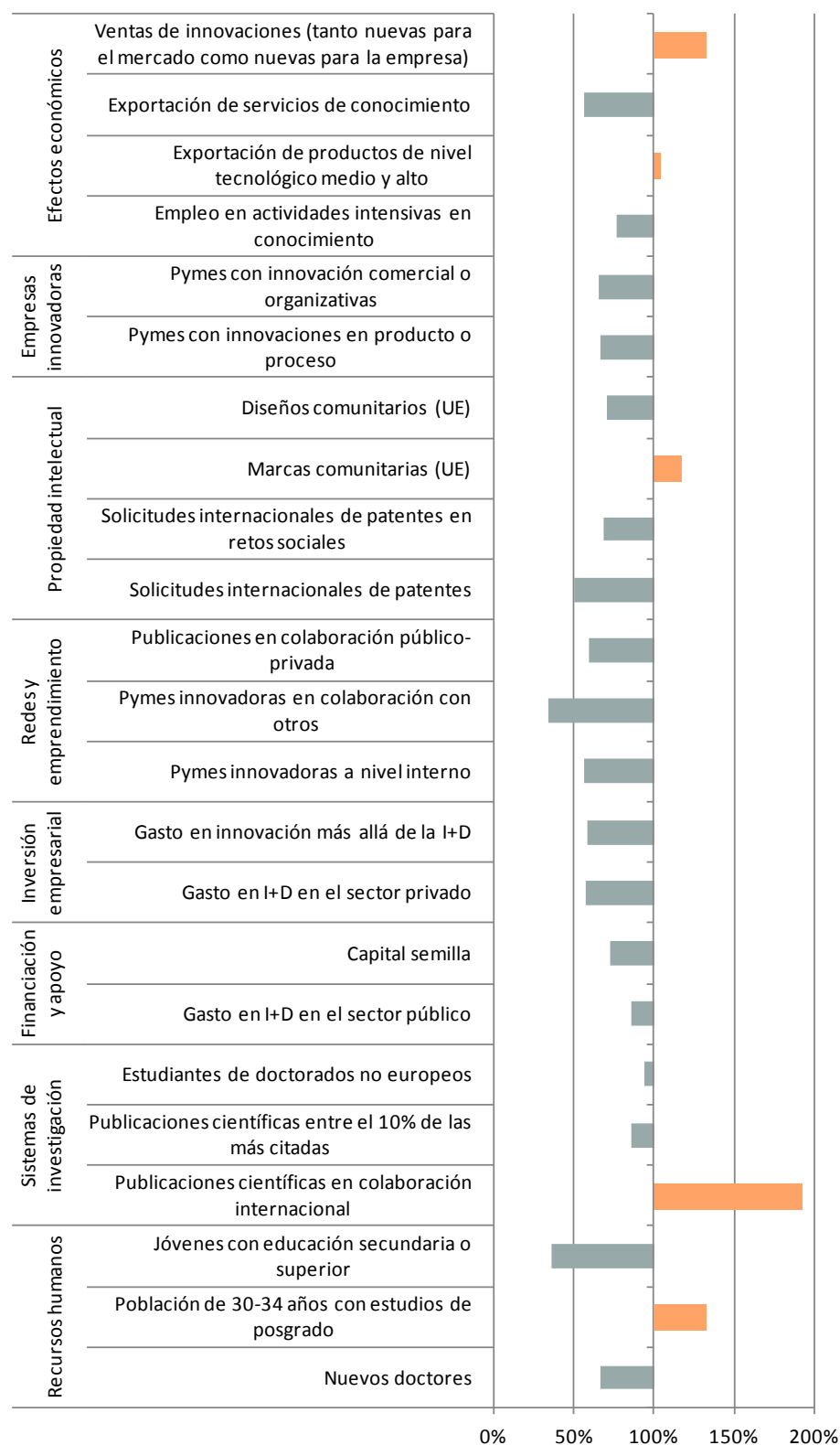
Gráfico 56: Comparación de indicadores de innovación en España en 2011 con la media de la UE y con Suecia (máxima puntuación) según *Innovation Union Scoreboard* 2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INNO-metrics

4 Para consultar qué indicadores se han tenido en cuenta para construir los índices de la IUS, ver "Anexo B: Indicadores de innovación".

Gráfico 57: Indicadores de factores y resultados de innovación de España con respecto a la UE (100% = media de UE-27) según IUS 2011

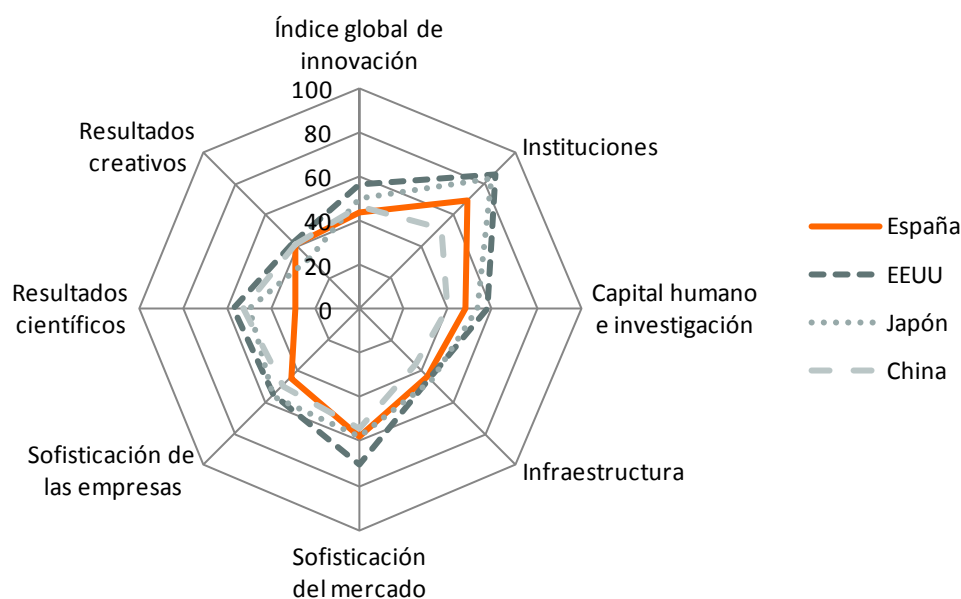


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INNO-metrics

El análisis de la OECD revela un diagnóstico similar al comparar España con los países de la OECD: España se encuentra por debajo de la media de la OECD en la mayor parte de los parámetros analizados (inversión en I+D, recursos humanos en ciencia y tecnología, resultados de innovación en las empresas, colaboraciones público-privadas en I+D). Sólo parece estar en la media o ligeramente por encima de ella en cuanto a número de publicaciones científicas, colaboración internacional en proyectos de I+D y publicaciones, y nivel de exportaciones tecnológicas (OECD, 2005).

Otro ranking que nos puede ayudar a entender debilidades y fortalezas del sistema de innovación español en un contexto internacional es el *Global Innovation Index* (GII) (INSEAD, 2011). El Gráfico 58 muestra la comparativa entre España, Estados Unidos, Japón y China para los principales indicadores del estudio, mientras que el Gráfico 59 representa la posición de España en el ranking de países para todos los indicadores considerados (y sirve para entender qué factores se han tenido en cuenta al elaborar los índices agregados que se muestran en el Gráfico 58). Según el análisis de este estudio, España está relativamente mejor posicionada en infraestructura y sofisticación del mercado, y particularmente mal posicionada en lo que respecta a instituciones (entorno empresarial, entorno político y marco regulatorio).

Gráfico 58: Comparación entre España, Estados Unidos, Japón y China según los principales indicadores de GII 2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Global Innovation Index* (INSEAD, 2011)

Gráfico 59: Posición de España entre 125 países en los rankings de indicadores de innovación del GII 2011



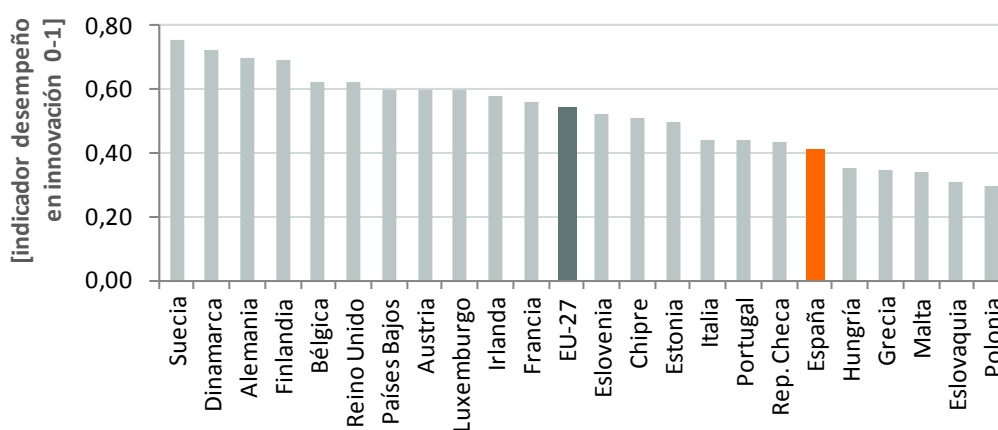
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de *Global Innovation Index* (INSEAD, 2011)

Rankings

A pesar de que los rankings de países implican necesariamente simplificaciones que pueden llevar a una visión algo parcial o sesgada, pueden resultar útiles para hacernos una idea del posicionamiento de España en innovación a nivel internacional.

A nivel europeo, según el índice de la *Innovation Union Scoreboard* (IUS), el sistema de innovación español ocupó en 2011 la posición 18 de entre los 27 países de la UE. El Gráfico 60 muestra la clasificación de países según este índice.

Gráfico 60: Ranking de países de la Unión Europea en innovación según IUS 2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INNO-metrics

A nivel mundial, el *Global Innovation Index* (GII) elaborado por INSEAD, desde su concepto amplio de innovación (que incluye formas de innovación no tecnológicas, de tipo organizativo, relacional o comercial), sitúa a España en la posición 32 del ranking de innovación, y en la posición 74 en el ranking de eficiencia en innovación, de un total de 125 países (INSEAD, 2011). Otro ranking elaborado por (Economist Intelligence Unit, 2009) sitúa a España en la posición 26 del ranking de desempeño en innovación y en la posición 24 en factores facilitadores de la innovación, de un total de 82 países.

En definitiva, aún teniendo en cuenta las limitaciones y simplificaciones inherentes a los rankings, los rankings de innovación analizados apuntan a que el sistema de innovación español ocupa posiciones rezagadas en comparación con otros países de Europa y el mundo.

C

Datos y limitaciones

i. Indicadores de innovación en energía

La Tabla 14 resume los principales indicadores de innovación en energía considerados en la literatura.

Tabla 14: Resumen de indicadores de innovación en energía usados frecuentemente

Inputs	Gasto en I+D	Gasto en I+D público, privado y total. En ocasiones incluye gasto en proyectos de demostración (I+D+D). Puede venir expresado en términos absolutos o como intensidades de I+D normalizadas respecto al PIB, a la producción, a la inversión, etc.
	Inversión	Inversión pública, privada o total en innovación. Incluye gastos en I+D, pero también puede incluir inversión en demostración y difusión.
	Recursos humanos	Número de científicos e ingenieros en actividades de I+D. Expresados en términos absolutos, por sector, o por habitante.
Outputs	Publicaciones	Número de artículos en publicaciones científicas. Puede ponderarse con número de citas recibidas o factores de impacto.
	Patentes	Número de patentes solicitadas o concedidas. Puede ponderarse por número de referencias.
	Tecnologías	Cantidad de tecnologías comercializadas. Puede ser en términos de plantas, líneas de producción, variantes de producto, mejoras de procesos, empresas, facturación, etc.
	Características tecnológicas	Ratios de características técnicas o de servicio.
Efectos	Penetración en el mercado	Proporción del mercado capturada por la innovación.
	Tasas de aprendizaje	Factor de reducción del coste tecnológico. Generalmente se mide como porcentaje de reducción en el coste unitario al duplicarse la producción acumulada.
	Beneficios económicos	Análisis coste-beneficio. Puede presentarse agregado como beneficio social neto, o desagregado (empleo, medioambiente, conocimiento, etc.)
	Intensidad energética/de emisiones	Energía primaria (GJ), electricidad (GWh) o emisiones (tCO ₂) por unidad de PIB.
	Evaluación de programa/proyecto	Número y tamaño de los programas en términos de empleados, facturación, inversión, resultados, etc.

Fuente: Adaptado de (Gallagher et al., 2011)

ii. Bases de datos consultadas

No resulta sencillo encontrar datos específicos para el sector de la energía. La información estadística sobre las inversiones en I+D es en algunos casos poco consistente (diferentes interpretaciones de los criterios a la hora de incluir o no la fase de ensayos, los créditos reembolsables o las inversiones de carácter autonómico o provincial), y a menudo demasiado general (por ejemplo, no distingue el sector de la energía, o no distingue por diferentes tecnologías energéticas) (Comisión Europea, 2009a). Dado que no existe ninguna fuente que se centre en tecnologías energéticas e incluya tanto inversión pública como privada, se combinarán varias fuentes para hacer el análisis lo más completo posible. También recurrimos a diversas fuentes para encontrar indicadores de resultados de innovación y de efectos socioeconómicos.

En la Tabla 15 recopilamos las principales fuentes consultadas en nuestro análisis, indicando el tipo de indicador que recogen (según sean inputs a la innovación -como la inversión en I+D-, outputs de la innovación -como las publicaciones o las patentes registradas-, o efectos socioeconómicos de la innovación -como ingresos por exportaciones tecnológicas-), si consideran el conjunto de sectores o específicamente el sector energético, y la cobertura geográfica de los datos (si permite la comparación entre países de la OECD, entre países de la Unión Europea, o entre comunidades autónomas dentro de España). Esta tabla resumen se complementa con una segunda tabla que contiene explicaciones relevantes sobre cada una de las fuentes consultadas.

Tabla 15: Cobertura de indicadores de innovación de las principales bases de datos consultadas en este estudio

Se incluyen dos tablas. La primera, resume la cobertura de las bases de datos según tipo de indicadores que contienen (input, output o efecto), si contienen o no datos específicos para el sector de la energía, y según su cobertura geográfica. El tono más oscuro indica que podemos catalogar la fuente en esa categoría, el tono más claro que no corresponde a esa categoría, y el tono intermedio corresponde sólo parcialmente. La segunda tabla desarrolla las referencias (letras entre corchetes) que aparecen en la primera tabla, y resume otra información relevante.

		Tipo de indicador			Sector		Cobertura geográfica		
		Input	Output	Efecto	General	Energía	OECD	UE	CC.AA.
IEA									
OECD			[a]	[b]		[c]			
EUROSTAT						[d]			[e]
INE						[f]			[g]
ICONO-FECYT									
PRO INNO Europe								[h]	[i]

IEA	http://wds.iea.org/WDS/Common/Login/login.aspx h Contiene datos de inversión pública en I+D (distinguiendo por grupos de tecnologías: eficiencia energética, combustibles fósiles, renovables, fisión nuclear, y fusión nuclear). No incluye datos de inversión privada. Los datos de inversión pública de IEA se refieren a I+D+D y a una concepción amplia del sector de la energía: cubren investigación, desarrollo y ensayos en relación con la producción, almacenaje, transporte, distribución y uso racional de cualquier forma de energía (IEA, 2011). Se estiman a partir de los presupuestos de financiación de todos los organismos gubernamentales que participan en actividades relacionadas con la energía (a todos los niveles, tanto centrales como regionales, incluidas también aquellas instituciones sin ánimo de lucro bajo el control y la financiación del gobierno). Esto incluye: ministerios y secretarías de Estado, consejos regionales, organismos públicos independientes, organismos de investigación financiados por el gobierno, y centros públicos de enseñanza superior (ibid).
OECD	www.oecd.org/sti/rds La base de datos ANBERD (ANalytical Business Enterprise Research and Development) contiene datos de gasto en I+D en las empresas. Se construye adaptando los datos oficiales de los Estados Miembros y añadiendo estimaciones propias de la OECD, con el objetivo de facilitar la comparación internacional. Contiene datos desagregados en 60 sectores industriales y de servicios, desde 1987 para países de la OECD y otros países seleccionados. [a] Incluye información muy detallada sobre patentes en diferentes tecnologías energéticas. [b] Datos de balance de pagos por tecnologías y de importaciones-exportaciones. [c] Incluye datos de presupuestos públicos de inversión en I+D (GBAORD) por objetivo socioeconómico (NABS, que incluye categoría 5. Energía), y datos de patentes por tecnologías energéticas.

EUROSTAT	http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/science_technology_innovation/data [d] Contiene datos de presupuestos públicos de inversión en I+D (GBAORD) para los países europeos clasificados por objetivos socioeconómicos (NABS 2007, que incluye categoría 5. Energía). [e] Para algunos indicadores, desglosa en regiones NUTS 2, que en el caso de España corresponden a las 17 Comunidades Autónomas y 2 Ciudades Autónomas.
INE	http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t14/p057&file=inebase [f] En “resultados por sectores de ejecución”, algunos indicadores se presentan por categorías CNAE, entre las cuales se encuentra CNAE-35,36 correspondiente a energía (“suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado”) y agua (“captación, depuración y distribución de agua”). [g] En “resultados por Comunidades Autónomas”, se pueden ver gastos internos totales y personal (total, en empresas, en Administración y en Enseñanza Superior) por comunidades autónomas.
ICONO-FECYT	http://icono.fecyt.es/Paginas/home.aspx Básicamente combina datos de INE y EUROSTAT (también EPO para patentes, SCOPUS para publicaciones, o Ministerio de Economía para presupuestos), pero presentados de forma más interactiva y visual.
PRO INNO Europe	http://www.proinno-europe.eu/metrics [h] Innovation Union Scoreboard [i] Regional Innovation Scoreboard

iii. Principales limitaciones en los datos

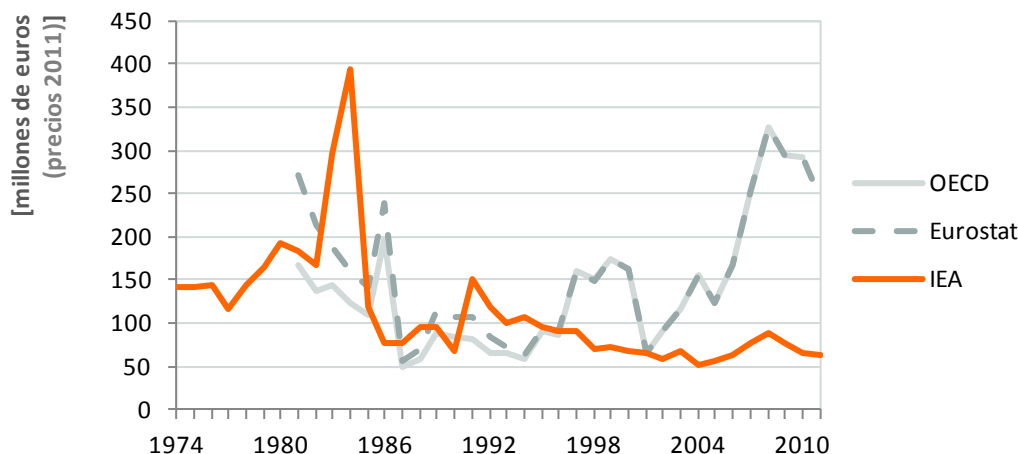
Además de dificultades a la hora de encontrar datos, debe tenerse en cuenta que los datos muchas veces presentan limitaciones asociados generalmente a dificultades en la atribución: problemas de contabilización duplicada, diferencias entre inversión presupuestada y gastos reales, frontera difusa entre lo público y lo privado, asignación del gasto por años, conversión de la moneda y actualización del valor en el tiempo, etc. (SenterNovem, 2008).

Entre las limitaciones encontradas, queremos desarrollar una: la inconsistencia entre fuentes de datos detectada para las inversiones públicas en energía en el caso de España.

Los datos de inversión pública en I+D son relativamente abundantes, incluso desagregados para el sector de la energía. La dificultad aparece al constatar que existen diferencias significativas según las bases de datos consultadas. En particular, resultan sorprendentes las diferencias encontradas entre las bases de datos de Eurostat y de la IEA sobre el presupuesto público en I+D para el caso de España: el presupuesto público según Eurostat es del orden de cinco veces el presupuesto público según IEA (Wiesenthal et al., 2009).

El Gráfico 61 representa el presupuesto público en I+D en energía para España en el periodo 1974-2010 según Eurostat, OECD y IEA: puede verse como, sobre todo en la última década, las diferencias entre IEA y OECD/Eurostat son muy significativas.

Gráfico 61: Presupuesto público en I+D en energía: comparativa entre bases de datos, España 1974-2011



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de OECD, Eurostat y IEA

Esta disparidad podría deberse a diferencias en los conceptos que se contabilizan como I+D en energía (por la dificultad de acotar tanto el sector de la energía como las actividades que constituyen I+D). Además de esta limitación general que afecta a todos los datos de inversión en I+D en energía, existen al menos tres factores más concretos que podrían explicar las diferencias entre los datos de IEA y OECD/Eurostat:

- IEA incluye fase de demostración (prototipos y proyectos piloto) mientras que OECD/Eurostat no (esto puede explicar que los valores de IEA superen los de OECD/Eurostat en algunos años).
- Aún cuando todos hacen referencia a presupuestos de inversión en I+D, puede haber diferencias en la fase del presupuesto considerada (fase de propuesta, aprobación, ejecución...).⁵ Dado que puede llegar a haber una diferencia significativa entre el presupuesto aprobado y el ejecutado⁶, e IEA presenta valores significativamente inferiores a los de OECD/Eurostat en los últimos años, es posible que IEA haya considerado presupuestos ejecutados en lugar de presupuestos aprobados.
- Aún cuando todos utilizan los criterios del Manual de Frascati (OECD, 2002) para recopilar los datos de inversión en I+D, el criterio para la inclusión de los créditos reembolsables es poco específico⁷. Diferencias en la interpretación de este criterio pueden dar lugar a diferencias significativas en los importes reportados de inversión en I+D⁸.

5 Por ejemplo, en el cuestionario de IEA, debe indicarse el estado del presupuesto que se considera entre siete estados posibles (IEA, 2011), pero luego no se refleja a la hora de presentar los datos.

6 Por ejemplo, en 2010, la financiación concedida en la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático representó en 2010 el 69% del presupuesto financiable (FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 2011).

7 Dice textualmente: "Los préstamos que puedan no ser reembolsados deben incluirse en los créditos presupuestarios públicos de I+D, pero aquéllos que han de ser reintegrados, así como el apoyo indirecto a la I+D industrial, por vía de desgravaciones fiscales, etc., deben excluirse, en principio. No obstante, cuando dichos programas de apoyo indirecto se emprenden en el marco de una política global de I+D (por ejemplo, cuando las fuentes están documentadas y son objeto de discusiones interministeriales, que dan lugar a un presupuesto para la ciencia), pueden incluirse en los créditos presupuestarios públicos de I+D" (OECD, 2002).

8 Por ejemplo, en 2010 los préstamos supusieron un 81% de las ayudas a la I+D concedidas en la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático (FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 2011).

iv. Índices compuestos mencionados en nuestro análisis

A la hora de diagnosticar la situación del sistema de innovación español, se ha hecho referencia a algunos índices compuestos desarrollados en estudios previos, especialmente para comparar la situación de España con la de otros países recurriendo a rankings. Para entender lo que realmente reflejan estos índices, es importante conocer cómo han sido calculados. Por eso, en esta sección se especifican a partir de qué indicadores simples se han construido los índices compuestos a los que hemos hecho referencia en nuestro análisis.

Innovation Union Scoreboard

La Tabla 16 recoge los indicadores considerados en *Innovation Union Scoreboard* (INNO-metrics, 2011).

Tabla 16: Indicadores considerados en Innovation Union Scoreboard 2011

Inputs	Recursos humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos doctores • Población de 30-34 años con estudios universitarios • Jóvenes con educación secundaria o superior
	Sistemas de investigación abiertos, excelentes y atractivos	<ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones científicas en colaboración internacional • Publicaciones científicas entre el 10% de las más citadas • Estudiantes de doctorados no europeos
	Financiación y apoyo	<ul style="list-style-type: none"> • Gasto en I+D en el sector público • Capital semilla
Actividad empresarial	Inversión empresarial	<ul style="list-style-type: none"> • Gasto en I+D en el sector privado • Gasto en innovación más allá de la I+D
	Redes y emprendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Pymes innovadoras a nivel interno • Pymes innovadoras en colaboración con otros • Publicaciones en colaboración público-privada
	Propiedad intelectual	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitudes internacionales de patentes • Solicitudes de patentes internacionales en retos sociales • Marcas comunitarias (UE) • Diseños comunitarios (UE)
Outputs	Empresas innovadoras	<ul style="list-style-type: none"> • Pymes con innovaciones en producto o proceso • Pymes con innovación comercial o organizativas • Empresas innovadoras de alto crecimiento
	Efectos económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo en actividades intensivas en conocimiento • Exportación de productos de nivel tecnológico medio y alto • Exportación de servicios de conocimiento • Ventas de innovaciones (tanto nuevas para el mercado como nuevas para la empresa) • Ingresos por patentes y licencias en el extranjero

Fuente: Adaptado de (INNO-metrics, 2011)

Global Cleantech Innovation Index

El informe *“Coming clean: the Global Cleantech Innovation Index 2012”* (Cleantech-WWF, 2012) evalúa treinta y ocho países en su capacidad para crear y comercializar nuevas empresas de tecnologías limpias (*“cleantech”*)⁹. Esta evaluación se concreta en cuatro índices que valoran tanto inputs a la innovación como outputs de la innovación, ba-

9 Es importante notar que, entre las tecnologías limpias consideradas en este informe, se consideran tecnologías no sólo energéticas, sino también en otros campos como agricultura, agua, residuos y materiales. Sin embargo, dado que las tecnologías energéticas son las que tienen un peso significativamente superior (supusieron un 77% de la inversión de capital riesgo en *cleantech* en 2010), consideramos que este estudio resulta relevante para el análisis la innovación en energía.

sados en estimaciones e índices de múltiples fuentes, y a partir de los cuales se construye el índice global. La Tabla 17 ilustra cómo se construye este índice a partir de indicadores compuestos. La Tabla 18 resume qué indicadores simples se tienen en cuenta para construir dichos indicadores compuestos.

Tabla 17: Contrucción del Global Cleantech Innovation Index a partir de indicadores compuestos

Factores generales para la innovación	Inputs a la innovación	Índice de innovación en tecnologías limpias
Factores para la innovación en tecnologías limpias		
Evidencia de innovación en tecnologías limpias emergentes	Outputs de la innovación	
Evidencia de innovación en tecnologías limpias comercializadas		

Fuente: Adaptado de (Cleantech-WWF, 2012)

Tabla 18: Construcción de indicadores compuestos del Global Cleantech Innovation Index

Factores generales para la innovación	Instituciones, capital humano, infraestructura, sofisticación del mercado, sofisticación de las empresas y cultura emprendedora.
Factores para la innovación en tecnologías limpias	Políticas gubernamentales de apoyo e impulso del sector, gasto gubernamental en el sector, acceso a financiación privada por parte de start-ups del sector, atractivo del país en términos de infraestructura para energías renovables, y asociaciones industriales e iniciativas de clúster.
Evidencia de innovación en tecnologías limpias emergentes	Patentes, inversión privada en las fases iniciales, número de start-ups con alto impacto.
Evidencia de innovación en tecnologías limpias comercializadas	Ingresos de las empresas del sector, consumo energético de fuentes renovables, inversión privada en fases tardías y operaciones de salida (M&As, IPOs), empresas SA exitosas, empleados en el sector. Evidencia de innovación en tecnologías limpias comercializadas: ingresos de las empresas del sector, consumo energético de fuentes renovables, inversión privada en fases tardías y operaciones de salida (M&As, IPOs), empresas SA exitosas, empleados en el sector.

Fuente: Adaptado de (Cleantech-WWF, 2012)

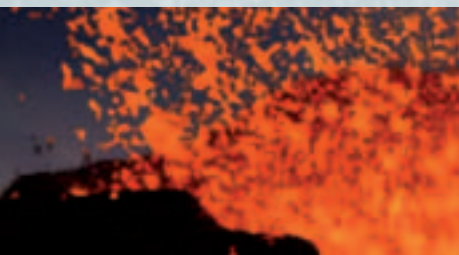
Global Innovation Index

La Tabla 19 resume los indicadores considerados para construir el Global Innovation Index (INSEAD, 2011).

Tabla 19: Indicadores considerados en Global Innovation Index

Inputs	Instituciones	<ul style="list-style-type: none"> Entorno político (estabilidad política, efectividad del gobierno, libertad de prensa) Marco regulatorio (calidad de la regulación, principios de derecho, rigidez del mercado laboral) Entorno empresarial (tiempo necesario para crear una empresa, coste para crear una empresa, impuestos)
	Capital humano e investigación	<ul style="list-style-type: none"> Educación (gasto en educación, esperanza de vida escolar, valoración PISA, ratio alumnos por profesor) Formación universitaria (matriculación en universidades, licenciados en ciencias e ingeniería, estudiantes de intercambio entrantes y salientes, matriculación universitaria en el extranjero) I+D (número de investigadores, gasto en I+D, centros de investigación de calidad)
	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> TIC (acceso a TIC, uso de TIC, servicio de internet del gobierno, participación electrónica) Energía (producción y consumo de electricidad, intensidad energética de la economía, porcentaje de fuentes renovables) Infraestructura general (calidad de la infraestructura de comercio y transporte, formación del capital bruto, huella ecológica y capacidad biológica)
	Sofisticación de mercado	<ul style="list-style-type: none"> Financiación (fortaleza de los derechos de financiación, información sobre financiación, financiación interna al sector privado, microcréditos) Inversión (protección a los inversores, capitalización del mercado, valor total de las acciones comercializadas, transacciones de capital semilla) Comercio y competencia (tasas arancelarias, restricciones de acceso al mercado, importaciones y exportaciones de bienes y servicios, intensidad de la competencia local)
	Sofisticación empresarial	<ul style="list-style-type: none"> Trabajadores en el sector del conocimiento (empleo intensivo en conocimiento, empresas que ofrecen formación formal, I+D llevada a cabo por empresas, I+D financiada por empresas) Redes de innovación (colaboración Universidad-industria, estado de desarrollo de clústeres, I+D financiada desde el extranjero, transacciones en alianzas estratégicas, solicitudes de patentes internacionales con inventores extranjeros) Absorción de conocimiento (pagos por derechos de autor y licencias, importaciones de alta tecnología, importaciones de servicios informáticos y de comunicación, flujo neto de entrada de inversión extranjera directa)
Outputs	Resultados científicos	<ul style="list-style-type: none"> Creación de conocimiento (patentes nacionales, patentes internacionales de residentes, publicaciones científico-técnicas) Impacto del conocimiento (tasa de crecimiento del PIB, nuevas empresas, gasto en software informático) Difusión del conocimiento (ingresos por derechos de autor y licencias, exportaciones de alta tecnología, exportaciones de servicios informáticos y de comunicaciones, flujo neto de salida de inversión extranjera directa)
	Resultados creativos	<ul style="list-style-type: none"> Activos creativos intangibles (marcas, modelos de negocio y TIC, modelos organizativos y TIC) Bienes y servicios creativos (consumo de ocio y cultura, películas nacionales, periódicos diarios, exportaciones de bienes y servicios creativos)

Fuente: Adaptado de (INSEAD, 2011)



[07]



Bibliografía



- Anadón, L., Holdren, J.P., 2009. Policy for energy technology innovation, en: Gallagher, K.S. (Ed.), *Acting in Time on Energy Policy*. Brookings Institution Press, Washington, D.C., p. 89–127.
- Anadón, L.D., Bosetti, V., Bunn, M., Catenacci, M., Lee, A., 2012. Expert judgments about RD&D and the future of nuclear energy. *Environmental Science & Technology* 46, 11497–11504.
- Anadón, L.D., Bunn, M., Chan, G., Chan, M., Jones, C., Kempener, R., Lee, A., Logar, N., Narayanamurti, V., 2011. Transforming U.S. energy innovation. Energy Technology Innovation Policy research group, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Cambridge, MA.
- Arthur, B., 2009. *The nature of technology*. Free Press, New York, NY, United States.
- Atkinson, R.D., Ezell, S.J., Stewart, L.A., 2012. The global innovation policy index. Information Technology and Innovation Foundation (ITIF), Kauffman Foundation.
- Beneito, P., Coscollá, P., Rochina, M.E., Sanchis, A., 2011. La relación en forma de U-invertida entre competencia e innovación: evidencia para el caso español. *Economía Industrial. Fuentes y efectos económicos de la innovación tecnológica*, 45–52.
- Bernstein, J.I., 1989. The structure of Canadian inter-industry R&D spillovers, and the rates of return to R&D. *Journal of Industrial Economics* XXXVII, 315–328.
- Bloom, N., Griffith, R., Van Reenen, J., 2002. Do R&D tax credits work? Evidence from a panel of countries 1979-1997. *Journal of Public Economics* 85, 1–31.
- Bornstein, D., 2012. *Innovation for the People, by the People*. Opinionator.
- Bosetti, V., Catenacci, M., Fiorese, G., Verdolini, E., 2011. Electric drive vehicles: short technical report from the ICARUS survey on the current state and future development.
- Bosetti, V., Catenacci, M., Fiorese, G., Verdolini, E., 2012. The future prospect of PV and CSP solar technologies: An expert elicitation survey. *Energy Policy* 49, 308–317.
- Brennan, T.J., Macauley, M., Whitefoot, K., 2011. Prizes, patents, and technology procurement: A proposed analytical framework. *Resources For the Future*, Washington D.C., United States.
- Buesa, M., 2006. El sistema nacional de innovación en España. *Revista electrónica mi+d. 20 años de la Ley de la Ciencia (edición especial)*.
- Buesa, M., Martínez, M., Heijs, J., Baumert, T., 2002. Los sistemas regionales de innovación en España: Una tipología basada en indicadores económicos e institucionales. *Economía Industrial* 15–32.
- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2011. Participación española en el VII Programa Marco de la Unión Europea: Resultados provisionales 2007-2010.
- Chan, G., Anadón, L.D., Chan, M., Lee, A., 2010. Expert elicitation of cost, performance, and RD&D budgets for coal power with CCS. *Energy Procedia* 4, 2685–2692.

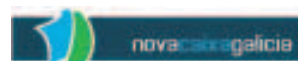
- Cleantech, 2011. The Global Cleantech 100 Report: A barometer of the changing face of global cleantech innovation.
- Cleantech-WWF, 2012. Coming clean: The global cleantech innovation index 2012.
- CNE, 2012. Informe sobre el sector energético español. Parte I: Medidas para garantizar la sostenibilidad económico-financiera del sistema eléctrico.
- Cohen, L.R., Noll, R.G., 1991. The technology pork barrel. Brookings Institution Press, Washington D.C., United States, 295-297.
- Comin, D., 2012. ¿Necesitamos un nuevo modelo productivo? Nada es Gratis.
- Comisión Europea, 2007a. A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan): Towards a low carbon future. COM(2007) 723 final.
- Comisión Europea, 2007b. Accompanying document to the Communication "A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan): Capacities map". COM SEC (2007) 1511. Commission Staff Working Document.
- Comisión Europea, 2009a. SEC(2009)1297. Impact assessment for the communication on investing in the development of low carbon technologies (Set-Plan).
- Comisión Europea, 2009b. SEC(2009)1296. Accompanying document to the SET-plan: R&D investment in the priority technologies of the SET-plan.
- Comisión Europea, 2009c. Making public support for innovation in the EU more effective: Lessons learned from a public consultation for action at Community level. (Commission Staff Working Document No. SEC(2009)1197 of 09.09.2009), Pro Inno Europe, Paper 13. Working Document.
- Comisión Europea, 2010. Europe 2020: A strategy for smart sustainable and inclusive growth.
- Comisión Europea, 2011a. Innovation Union Competitiveness report. Country profile: Spain.
- Comisión Europea, 2011b. Innovation Union Competitiveness report.
- Comisión Europea, 2011c. European Research Area - ERA. URL http://ec.europa.eu/research/era/index_en.htm
- Comisión Europea, 2011d. European Union Atlas.
- Comisión Europea, 2012. Séptimo Programa Marco (7PM). URL http://cordis.europa.eu/fp7/home_es.html
- Cotec, 2012. Informe Cotec 2012: Tecnología e innovación en España.
- Cruz-Castro, L., Sanz-Menéndez, L., Romero, M., 2004. Convergencia y divergencia en las políticas de ciencia y tecnología de los gobiernos regionales. Revista Española de Ciencia Política 11, 31–70.
- DTI, 2007. Meeting the challenge: A white paper on energy. U.K. Department of Trade and Industry, London, UK.
- Economist Intelligence Unit, 2009. A new ranking of the world's most innovative countries.
- Edquist, C., Johnson, B., 1997. Institution and organizations in systems of innovation, en: Edquist, C. (Ed.), Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organization. Pinter, London, UK, pp. 41–60.
- Ek, K., Söderholm, P., 2010. Technology learning in the presence of public R&D: The case of European wind power. Ecological Economics 69, 2356–2362.
- Elola, A., Parrilli, M.D., Rabellotti, R., 2012. The resilience of clusters in the context of increasing globalization: The basque wind energy value chain. European Planning Studies 1–18.

- Ernst & Young, 2012. Renewable energy country attractiveness indices.
- Espiga, F., 2011. Investigación e innovación tecnológica para un sistema energético bajo en carbono. Presentado en Grupo de Trabajo en Energía y Cambio Climático.
- European University Institute (EUI), 2012. THINK half-way and beyond. Think Tank advising the European Commission on mid- and long-term energy policy. Mid-term booklet.
- FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 2011. Informe SISE 2010: Análisis de las convocatorias del Plan Nacional 2008-2011 correspondientes al año 2010.
- FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 2012. Estudio sobre los efectos de la I+D en los resultados empresariales para España.
- FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) - ICONO (Observatorio Español de I+D), 2012. Indicadores de I+D+i. URL <http://icono.fecyt.es/indicadores/Paginas/default.aspx?ind=1>
- Fiorese, G., Catenacci, M., Verdolini, E., Bosetti, V., 2012. Advanced biofuels: Future perspectives from an expert elicitation survey, FEEM Working Paper 67.2012.
- Fundación BBVA, 2012. Estudio internacional de cultura científica.
- Fundación General CSIC, 2012. Informe de la I+D en energía y automoción.
- Fundación OPTI: Club Innovación y Futuro, 2012. Una aproximación al impacto económico de la innovación en el desarrollo del sector empresarial de la energía en España.
- Gallagher, K.S., Anadón, L.D., Kempener, R., Wilson, C., 2011. Trends in investments in global energy research, development, and demonstration. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 2, 373–396.
- Gallagher, K.S., Grübler, A., Kuhl, L., Nemet, G., Wilson, C., 2012. The energy technology innovation system. Annual Review of Environmental and Resources 37, 6.1–6.26.
- GEA, 2012. Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future. Ch. 24: Policies for the energy technology innovation system (ETIS), Global Energy Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Global Entrepreneurship Monitor (GEM), 2012. Global Entrepreneurship Monitor: Key indicators. GEM Key Indicators. URL <http://www.gemconsortium.org/key-indicators>
- Gnamus, A., 2011. Capacities Map 2011: Update on the R&D investment in three selected priority technologies within the European strategic energy technology plan: wind, PV and CSP (Scientific and Technical Report by the Joint Research Centre of the European Commission).
- Gobierno Vasco, 2011. Estrategia Energética de Euskadi 2020 (3E2020).
- Grübler, A., 1998. Technology and global change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hall, B.H., Mairesse, J., Mohnen, P., 2010. Measuring the returns to R&D, en: Hall, B.H. (Ed.), Handbook of the Economics of Innovation. North Holland.
- Herman, K.S., 2012. Wind energy innovation systems. IAAE Energy Forum - Third Quarter 2012 17–18.
- Hernández, H., Tübke, A., 2011. Techno-economic analysis of key renewable energy technologies (PV, CSP and wind).
- Hernández, R., Coduras, A., Sánchez, M. de la C., Díaz, J.C., Vaillant, Y., Lafuente, E., 2012. GEM Spain 2011 Report. Global Entrepreneurship Monitor (GEM).

- Idea Consult, 2008. Evaluation of the European Technology Platforms.
- IEA, 2011. IEA guide to reporting RD&D budget / expenditure statistics.
- IEA, 2012. Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a clean energy system.
- INNO-metrics, 2011. Innovation Union Scoreboard 2011.
- INSEAD, 2011. The Global Innovation Index 2011.
- John, A., Sarewitz, D., Weiss, C., Bonvillian, W., 2010. A new strategy for energy innovation. *Nature* 466, 316–317.
- JRC, 2011. Monitoring industrial research: The 2011 EU Industrial R&D Investment Scoreboard. Joint Research Centre (JRC).
- Kim, J., Kim, Y., Flacher, D., 2012. R&D investment of electricity-generating firms following industry restructuring. *Energy Policy*.
- Klaassen, G., Miketa, A., Larsen, K., Sundqvist, T., 2005. The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom. *Ecological Economics* 54, 227–240.
- Kline, S.J., Rosenberg, N., 1986. An overview of innovation, en: Landau, R., Rosenberg, N. (Eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. National Academies Press, Washington D.C., United States, pp. 275–306.
- Kouvaritakis, N. (coord), 2007. *Cascade Mints: CAse Study Comparisons And Development of Energy Models for INtegrated Technology Systems*.
- Lakhani, K.R., Jeppesen, L.B., Lohse, P.A., Panetta, J.A., 2007. The value of openness in scientific problem solving.
- Lassiter, J., 2010. Venture capital's disconnect with cleantech.
- Lester, R.K., Hart, D.M., 2011. *Unlocking energy innovation: How America can build a low-cost, low-carbon energy system*. MIT Press, Cambridge, MA, United States.
- López-Peña, Á., Linares, P., Pérez-Arriaga, I., 2011. A policy-oriented energy optimization model with sustainability considerations.
- Lundvall, B.-A., 2007. National innovation systems-analytical concept and development tool. *Industrial Innovation* 14, 95–119.
- Lundvall, B.-A., Johnson, B., Andersen, E., Dalum, B., 2002. National systems of production, innovation, and competence building. *Research Policy* 31, 213–231.
- Margolis, R.M., Kammen, D.M., 1999. Evidence of under-investment in energy R&D in the United States and the impact of Federal policy. *Energy Policy* 27, 575–584.
- Mas, M., Navarro, M., 2012. *Un modelo de crecimiento y productividad regional: El caso del País Vasco*. Orkestra - Instituto Vasco de Competividad (Fundación Deusto); Marcial Pons.
- Menanteau, P., Finon, D., Lamy, M.-L., 2003. Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. *Energy Policy* 31, 799–812.
- Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010a. *Investigación, desarrollo e innovación en España*.
- Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010b. *El Ministerio de Ciencia e Innovación y los Organismos Públicos de Investigación*.

- Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010c. Mapa de Instalaciones Científicas y Tecnológicas Singulares.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011. La energía en España 2010.
- Molero, J., 2012. La importancia económica de innovar en el sector de la energía. Cuadernos de Energía 34.
- Molero, J., De Nó, J., 2012. Análisis de los recursos destinados a I+D+i contenidos en el proyecto de presupuestos generales del estado para el año 2012.
- Mowery, D., Rosenberg, N., 1979. The influence of market demand upon innovation: A critical review of some recent empirical studies. *Research Policy* 8, 102–153.
- NCEP, 2004. Ending the energy stalemate. A bipartisan strategy to meet America's energy challenges. National Commission on Energy Policy, Washington D.C., United States.
- Negro, S.O., Alkemade, F., Hekkert, M.P., 2012. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 3836–3846.
- Nemet, G.F., Kammen, D.M., 2007. US energy research and development: Declining investment, increasing need, and the feasibility of expansion. *Energy Policy* 35, 746–755.
- Newell, R.G., Wilson, N.E., 2005. Technology prizes for climate change mitigation. *Resources For the Future*, RFF DP 05-33.
- OECD, 2002. Manual de Frascati: Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental.
- OECD, 2005. Public-private partnership for research and innovation: An evaluation of the Spanish experience.
- OECD, 2009. Tax treatment of R&D.
- OECD, 2011. Regions and innovation policy. Country profiles: Spain.
- Ogden, P., Podesta, J., Deutch, J., 2008. A new strategy to spur energy innovation. *Issues in Science and Technology*.
- Olmos, L., Newbery, D., Ruester, S., Liong, S.J., Glachant, J.-M., 2011. Public support for the financing of RD&D activities in new clean energy technologies (THINK).
- PCAST, 1997. Federal energy research and development for the challenges of the twenty-first century. President's Council of Advisors on Science and Technology, Executive Office of the President, Washington D.C., United States.
- PCAST, 2010. Report to the president on accelerating the pace of change in energy technologies through an integrated federal energy policy. President's Council of Advisors on Science and Technology. Executive Office of the President.
- Popp, D., Hascic, I., Medhi, N., 2011. Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics* 33, 648–662.
- Rai, N., Patel, P., 2011. Relationship between innovation and socio-economic performance (INNO-Metrics Thematic Paper). PRO INNO Europe: INNO-Metrics.
- Raven, R., 2007. Niche accumulation and hybridisation strategies in transition processes towards a sustainable energy system: an assessment of differences and pitfalls. *Energy Policy* 35, 2390–2400.
- REE, 1999. Operación del sistema eléctrico: Informe 1999.
- REE, 2008. El sistema eléctrico español 2008.

- REE, 2012. El sistema eléctrico español 2011.
- Rosenberg, N., 1982. Inside the black box: Technology and economics. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SenterNovem, 2008. Scientific reference system on new energy technologies, energy end-use efficiency and energy RTD. D4.2: Final report. Public and private spending for NET & EEE R&TD.
- Sterlacchini, A., 2012. Energy R&D in private and state-owned utilities: An analysis of the major world electric companies. *Energy Policy* 41, 494–506.
- Tabarrok, A., 2011. Launching the innovation renaissance: A new path to bring smart ideas to market fast. TED Books.
- The Pew Charitable Trusts, 2012. Who is winning the clean energy race. 2011 edition.
- Unruh, G.C., 2000. Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28, 817–830.
- Vaitheeswaran, V.V., 2012. The rise of the prize. *Freakonomics: The hidden side of everything*.
- Weiss, C., Bonvillian, W.B., 2009. Structuring an energy technology revolution. MIT Press, Cambridge, MA, United States.
- Weyant, J.P., 2011. Accelerating the development and diffusion of new energy technologies: Beyond the “valley of death”. *Energy Economics* 33, 674–682.
- Wiesenthal, T., Dowling, P., Morbee, J., Thiel, C., Schade, B., Russ, P., Simoes, S., Peteves, S., Schoots, K., Londo, M., 2012a. Technology learning curves for energy policy support, JRC Scientific and Policy Reports. Joint Research Centre (JRC).
- Wiesenthal, T., Guillaume Leduc, Hans-Günther Schwarz, Karel Haegeman, 2009. R&D investment in the priority technologies of the European strategic energy technology plan. Joint Research Centre (JRC), Luxembourg.
- Wiesenthal, T., Leduc, G., Cazzola, P., Schade, W., Köhler, J., 2011. Mapping innovation in the European transport sector: An assessment of R&D efforts and priorities, institutional capacities, drivers and barriers to innovation. Joint Research Centre (JRC).
- Wiesenthal, T., Leduc, G., Haegeman, K., Schwarz, H.-G., 2012b. Bottom-up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policy-making: The case of selected low-carbon energy technologies. *Research Policy* 41, 116–131.
- Wiesenthal, T., Mercier, A., Schade, B., Petrič, H., Szabó, L., 2010. Quantitative assessment of the impact of the SET-Plan on the European power sector (JRC Scientific and Technical Reports No. EUR 24566 EN - 2010). Joint Research Centre (JRC).
- Wilson, C., Grubler, A., Gallagher, K.S., Nemet, G.F., 2012. Marginalization of end-use technologies in energy innovation for climate protection. *Nature Climate Change* 2, 780–788.
- World Bank, 2012. World Databank. <http://data.worldbank.org/topic>.
- WWF, 2009. Clean economy, living planet.
- WWF, 2011. Clean economy, living planet: The race to the top of the global cleantech market.



Fundación Barrié

FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES



UniversidadeVigo

economics_{for}
energy

Doutor Cadaval, 2 - 3º E

36202 Vigo

Tel: +34 986 128 016

Fax: +34 986 125 404

Mail: info@eforenergy.org

www.eforenergy.org