
TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

SILVIA VICENTE OLIVA

Centro Universitario de la Defensa
Academia General Militar

La sucesiva sustitución de los combustibles fósiles y la biomasa tradicional por otras fuentes de energía más modernas y renovables, es considerada como una nueva transición energética (Leach, 1992) que se manifiesta en los cambios relacionados con la población, el crecimiento económico y la intensidad energética (Gales *et al.*, 2007) en los distintos países. Esta transición que se vive actualmente implica que los sistemas futuros de energía

se basarán más en fuente de energía renovable, como la solar o la eólica (Steg, Perlaviciute y van der Werff, 2015) y menos en los combustibles fósiles.

En los sistemas energéticos pueden encontrarse elementos característicos de sistemas socio-tecnológicos (Kern and Smith, 2008; Turnheim and Geels, 2012). En concreto, los aspectos relativos a la cadena de eficiencia (sistemas de producción eléctrica desde fuentes renovables), a los recursos verdes que permiten la generación desde su aprovechamiento (biomasa, biogás), las fuentes del «nuevo gas» (captura y secuestro de CO₂, cogeneración de calor y electricidad o CHP) y la construcción del entorno para que se llegue a materializar en un plazo breve, requieren de avances científicos y nuevas tecnologías. Sin embargo, las transiciones en los sistemas tecnológicos implican no solo el desarrollo de innovaciones disruptivas, sino también políticas que favorezcan el cambio y sistemas socio-tecnológicos proclives (Kivimaa and Kern, 2016) a la innovación.

Desde una perspectiva más social, los comportamientos sostenibles han sido estudiados desde el conocimiento de los ciudadanos, sus motivaciones y factores contextuales como los costes y beneficios derivados del comportamiento energético individual (como por ejemplo, Steg, Perlaviciute y van der Werff, 2015). Por ello, algunos avances tecnológicos tienen una mejor aceptación que otros pero, en todo caso, las políticas energéticas son las que determinan los factores que afectan a la aceptabilidad de algunas innovaciones y su posterior desarrollo.

La electricidad se señala como el centro de la transición energética debido al desarrollo de las energías renovables, la electrificación progresiva de las industrias y la evolución que los sistemas eléctricos tienen desde su creación centralizados, hasta el potencial que existe de millones de generadores distribuidos (Blazquez, Fuentes y Manzano, 2020). Hoy en día existen muchas tecnologías que proporcionan la conversión de recursos en electricidad, a la vez que se siguen desarrollando otras que facilitan el al-

macenamiento, la distribución y el acceso por parte del consumidor final. Un estudio de éstas merece la pena para conocer su disponibilidad, propiedad y acceso por parte de España.

Para analizar las tecnologías emergentes imbricadas en la transición energética se ha realizado un análisis bibliométrico internacional que posibilitarán esta transición, además de estudiar los trabajos realizados por investigadores en España. El sistema internacional de patentes protege el conocimiento y la tecnología que han desarrollado diferentes entidades pero que está disponible en bienes, servicios y procesos. Por ello, conocer sus patrones y, en concreto, el comportamiento de las mismas en España y Europa, proporciona información estratégica sobre la próxima evolución y medidas en materia de política tecnológica que se está a tiempo de adoptar. La fortaleza tecnológica en forma de patentes reside en las invenciones en materia eólica especialmente, mientras que otras tecnologías prometedoras – como las relacionadas con la energía solar- tienen muy poca representación en el panorama nacional.

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE ARTÍCULOS Y CITAS RECIBIDAS

En los últimos años, el crecimiento de la información disponible sobre cuestiones científico-técnicas ha sido continuo y enorme, incluso de la especializada. La literatura científica -en la que se produce una revisión por pares de los trabajos antes de publicarse-, asegura del rigor de los trabajos pese a este incremento, a la vez que permite realizar análisis a vista de pájaro para descubrir patrones, tendencias y especialistas en diversas materias. El análisis de esta bibliografía es una herramienta útil sobre la que se han desarrollado diversas metodologías (Pagani, Kovaleski y Resende, 2015) que se pueden utilizar en análisis tecnológicos, tendencias y prospectiva tecnológica.

En todas las metodologías de análisis bibliométrico se recaba información sobre las publicaciones científico-técnicas respecto a unas palabras clave seleccionadas del contexto. En este caso, sobre transición energética, la búsqueda en las colecciones del *Science Citation Index* (búsqueda realizada sobre «*Energetic Transition*» ya que la mayoría de los artículos internacionales revisados por pares se encuentran en el idioma inglés) de las últimas décadas (Tabla 1) muestra precisamente este crecimiento.

Respecto a los investigadores radicados en España, si se realiza una búsqueda de sus trabajos (solamente artículos) sobre el mismo tema desde el año 1997, las ciencias ambientales ostentan el primer lugar, seguido de los artículos científicos sobre combustibles y estudios medioambientales (tabla 2).

Entrando en detalle del tipo de tecnologías, Barhouse *et al.*, (2015) distingue aquellas que se usan para la conversión de fuentes renovables (1) de las

TABLA 1
DOCUMENTOS CIENTÍFICOS INTERNACIONALES
SOBRE «ENERGETIC TRANSITION»

Intervalo	Nº Documentos
1997-2000	1.361
2001-2004	1.923
2005-2008	3.024
2009-2012	5.661
2013-2016	10.671
2017-2020	31.429

Fuente: Web of Science y elaboración propia

TABLA 2
DOCUMENTOS CIENTÍFICOS SOBRE «ENERGETIC
TRANSITION» CON ALGÚN AUTOR ESPAÑOL

Campo científico	Nº Documentos
Ciencias ambientales	52
Combustibles	47
Estudios medioambientales	43
Económicos	29
Química-física	15
Química multidisciplinar	12
Ciencia de los materiales	8
Ingeniería ambiental	7
Física aplicada	7

Fuente: Web of Science y elaboración propia

que se utilizan para almacenar electricidad (2). Por su parte, Kern y Smith, (2008) señaló las tecnologías que componen la transición energética (4). Por ello, para identificar las referencias académicas desde que hay registro [1] se han utilizado las siguientes cadenas de búsqueda con resultados de numerosos trabajos (Tabla 3).

Puesto que se trata de un trabajo exploratorio para identificar la literatura más influyente en la transición energética, se analizarán los artículos de la (5) cadena de búsqueda que aglutina los trabajos que tienen que ver con generación, almacenamiento y sistemas de transición, que es, además, la más restrictiva. Una vez localizados, se recabará la información relativa al impacto del artículo, el número de citas que ha recibido de otros trabajos y el año de publicación para poder realizar el *Método Ordinatio* (Pagani, Kovaleski y Resende, 2015) sobre estas 49 publicaciones. De entre ellas, hay 28 artículos, 14 artículos derivados de congresos, 5 comunicaciones en congresos y 2 revisiones desde el año 2010. Para calcular el *Índice Ordinatio* (I.O) solo se pueden utilizar los artículos y se tienen en cuenta:

Factor de impacto de la publicación que lo contiene (IF): es el resultado de dividir el número de citas que

**TABLA 3
BÚSQUEDAS REALIZADAS DE LA LITERATURA CIENTÍFICA**

	Cadena	Artículos
(1)	TS=(«Photovoltaic system*» OR «rofftop PV» OR «concentrating solar thermal power» OR «onshore wind» OR hydro-power OR turbines OR run-of-river OR biomas OR biogas OR «solid biomass» OR «was-te-to-energy power plant*» OR «geothermal power plant*»)	165.938
(2)	TS=(«system-level battery storage» OR «pumped hydros-torage» OR PHS OR «adiabatic compressed air ener-gey storage» OR A-CAES OR «thermal energy storage» OR TES OR «power-to-gas technolog*»OR PtG)	35.365
(3)	(1) AND (2)	585
(4)	TS=(«renewal of production system» OR « sustainable paper chains» OR «sustainable agricultural chains» OR «biomass production» OR «biomass production chain» OR biosyngas OR bioplastic* OR «energy saving in the built environment» OR «micro CHP» OR «mini CHP» OR «clean natural gas» OR «green gas» OR «energy saving greenhouse» OR «natural gas» OR «energy saving greenhous*» OR «biofuel*»)	101.724
(5)	(3) AND (4)	49

Fuente: Web of Science y elaboración propia

ha recibido una revista en un año dado para los dos años anteriores por la cantidad de artículos publica-dos por ésta durante ese tiempo. En este índice se divide para 1.000 para normalizar las puntuaciones.

Número de citas (C): se trata de las veces que ha sido citado un trabajo por otros trabajos de inves-tigadores (i) posteriormente. Cuanto más relevante es el trabajo, más veces suele ser citado porque se utiliza como base para argumentar a favor, en con-tra o utiliza parte de la herramienta investigadora o sus resultados.

Año de publicación: muestra cómo de actual es el trabajo respecto al presente (2021). Aunque es nor-mal que decaiga el interés en una investigación con el tiempo, si ésta es antigua muestra la vigencia de sus hallazgos a día de hoy. El parámetro α se puede utilizar para dar más preponderancia a los trabajos en función de su antigüedad en campos de la cien-cia con un avance rápido. En este caso, se otorga 0,8 a los que se publicaron antes del año 2013, un 0,5 a los que se publicaron entre el año 2013 y el 2018; y un 0,3 a los publicados desde entonces.

La fórmula utilizada del I.O. es la siguiente:

$$I.O. = (IF/1000) + \alpha * [10-(Año de investigación- Año de publicación)] + (\sum Ci)$$

Los resultados detallados se pueden consultar en el anexo 1 pero en la tabla 4, se encuentran el 25% de los artículos por orden de importancia destacando los dedicados a sistemas híbridos, a la vez relacio-nada con el método de búsqueda. Respecto a los autores más relevantes, son Pantaleo y sus colabo-radores quienes tienen dos trabajos relativamente recientes (desde 2018) que se encuentran en esta categoría. El artículo más destacable por su alto factor es el de Barbieri y colaboradores sobre siste-mas innovadores de microgeneración combinados (CHP) dedicados a la generación energía eléctrica y calor simultáneamente ya que convierten el calor de desecho en energía útil. Como resultado de ello

se reducen el desperdicio y la huella de carbono, obteniendo altas tasas de eficiencia energética. Su trabajo está fechado en 2012 pero su alto número de citas hace que su lectura sea obligada para los especialistas en el campo científico.

ANÁLISIS DE PATENTES

Las técnicas para analizar patentes permiten obte-ner un estado de la tecnología con aplicación indus-trial en un momento determinado. Se trata de avances en la innovación puesto que hacen énfasis en la tecnología más que en la ciencia (Smith y Katz, 2004) y describen invenciones cuyos requisitos de innovación, actividad inventiva y aplicación indus-trial han sido revisados por expertos y publicados para posible apelación por parte de otros invento-res. Existen algunas ventajas que avalan el uso de este tipo de análisis (Griliches, 1990): contienen in-formación relativa a las entidades que innovan, está accesible su descripción y principales características en un catálogo actualizado que se renueva (en el caso de este trabajo, hasta diciembre de 2020) –y permiten el acceso a la información histórica-, y se encuentra estandarizada. Entre sus inconvenientes, cuando se trata de conocer el estado de la tecno-logía, es el retraso desde que se realizan los trámites para registrar una invención, hasta que se obtiene una publicación –pueden ser superiores a dieciocho meses-, o la dificultad de poder registrar la invención por su especializada redacción y tramitación, o las decisiones empresariales de no proteger los activos para mantener el secreto y que son habituales en algunos sectores.

Hay una limitación inherente al sistema de protec-ción internacional y es que no todas las invenciones pueden ser objeto de patente; como por ejemplo la protección de los programas de ordenador –conside-rados en España propiedad intelectual y, por tanto, se rigen por otra Ley-, o el caso de técnicas matemá-ticas que –si no se aplican tecnológicamente al igual que los programas informáticos, es decir, que tienen

TABLA 4
ARTÍCULOS MÁS DESTACADOS SOBRE TRANSICIÓN ENERGÉTICA POR I.O.

Nº	Autores	Título	Revista (abrev.)	Año	I.O.
1	Barbieri, E.S.; Spina, P.R.; Venturini, M.	Analysis of innovative micro-CHP systems to meet household energy demands	APPL ENERG	2012	137,81
2	Powell, K. M.; Rashid, K.; Ellingwood, K.; Tuttle, J.; Iverson, B.D.	Hybrid concentrated solar thermal power systems: A review	RENEW SUST ENERG REV	2017	80,81
3	Safari, F.; Dincer, I.	Assessment and optimization of an integrated wind power system for hydrogen and methane production	ENERG CONVERS MANAGE	2018	42,11
4	Powell, K. M.; Hedengren, J. D.; Edgar, T.F.	Dynamic optimization of a hybrid solar thermal and fossil fuel system	SOL ENERGY	2014	40,80
5	Trieb, F.; Fichter, T.; Moser, M.	Concentrating solar power in a sustainable future electricity mix	SUSTAIN SCI	2014	34,81
6	Pantaleo, A. M.; Camporeale, S. M.; Sorrentino, A.; Miliozzi, A.; Shah, N.; Markides, C. N.	Hybrid solar-biomass combined Brayton/organic Rankine-cycle plants integrated with thermal storage: Techno-economic feasibility in selected Mediterranean areas	RENEW ENERG	2020	29,71
7	Pantaleo, A. M.; Fordham, J.; Oyewunmi, O. A.; De Palma, P.; Markides, C. N.	Integrating cogeneration and intermittent waste-heat recovery in food processing: Microturbines vs. ORC systems in the coffee roasting industry	APPL ENERG	2018	27,11
8	Nazari-Heris, M.; Mirzaei, M. A.; Mohammadi-Ivatloo, B.; Marzband, M.; Asadi, S.	Economic-environmental effect of power to gas technology in coupled electricity and Gas systems with price-responsive shiftable loads	JOUR. CLEAN PROD	2020	24,71
9	Ehyaeei, M. A.; Mozafari, A.; Ahmadi, A.; Esmaili, P.; Shayesteh, M.; Sarkhosh, M.; Dincer, I.	Potential use of cold thermal energy storage systems for better efficiency and cost effectiveness	ENERG BUILD	2010	21,20

Fuente: Web of Science y elaboración propia

un efecto técnico- no pueden ser objeto de patente. Y existen categorías que tardan en aprobarse, como fue el caso de la fabricación aditiva y resulta complicado buscar histórico en su categoría hasta que no pasa un número suficiente de años.

En el caso de las patentes internacionales de invenciones registradas cada tipo de energía, puede encontrarse su evolución reciente en la tabla 5. Entre las tecnologías consideradas, las invenciones relativas a energía fotovoltaica son las mayores experimentando los años, desde el 2010 al 2012, un número de invenciones superior a las veinte mil por año. La energía solar térmica y la bioenergía son las siguientes por número de invenciones observándose un patrón similar en el crecimiento por año desde 2010 hasta 2012.

Los datos estadísticos utilizados para analizar patentes pueden ser la cantidad, su año de solicitud, oficina del país en el que se registra, solicitante de la invención y código de la Clasificación Internacional de Patentes (CIP). A partir de estos datos se pueden realizar diferentes tipos de análisis desde los meramente descriptivos, hasta los que utilizan índices para poder describir trayectorias tecnológicas.

Especialmente útil es el análisis por clasificación o CIP, que desde el año 1975 divide la tecnología en ocho secciones que están comprendidas en subdivisiones dentro de un sistema jerárquico o de tipo árbol. Para tramitar en oficinas de patentes las invenciones en todo el sistema internacional se utilizan estos códigos formados por caracteres del alfabe-

to latino y números arábigos (Oficina Española de Patentes y Marcas 2018). La Oficina Mundial de la Propiedad Industrial (OMPI) publica dos versiones, en francés e inglés, y algunas Oficinas Nacionales como la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) la traducen, pudiendo consultarse las ediciones vía web[2]. Para realizar búsquedas por categorías estos códigos son imprescindibles; en español se publica una nueva versión cada año que permite actualizar nuevas tecnologías o extinguir las obsoletas del sistema de búsquedas, siendo la última publicada disponible la del año en curso.

Existe un «Inventario verde de la CIP» de la WIPO (World Intellectual Property Organization, 2021), desarrollado por el Comité de Expertos de la CIP que facilita las búsquedas de información sobre patentes relacionadas con Tecnologías Ambientalmente Racionales, según lo enumera la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) cuyas palabras clave se utilizan en inglés. Actualmente, las tecnologías ecológicamente racionales se encuentran dispersas ampliamente en el IPC en numerosos campos técnicos y el Inventario intenta recopilarlos en un solo lugar. En el anexo 2 se pueden consultar las clasificaciones utilizadas, tanto del inventario, como de las palabras clave que se pueden utilizar. En un trabajo de la Oficina Internacional (Rivera León *et al.*, 2018) identificaron que está muy concentrada la producción de tecnología verde en Japón, Estados Unidos, Alemania y China que acaparaban más del 60% de las solicitudes y siendo China el país de las invenciones que más crecía.

TABLA 5
INVENCIONES INTERNACIONALES REGISTRADAS POR TIPO DE ENERGÍA Y AÑO (2000-2016)

Año	Eólica	Solar Foto-voltaica	Solar Termal	Solar Híbrida	Bio-energía	Geo-termal	Hidro-eléctrica	Marina	Otras
2000	1885	3060	2100	660	1879	128	918	235	35
2001	2274	3222	2221	691	1820	188	819	263	12
2002	2936	3113	2549	614	2007	234	984	237	29
2003	3185	3616	2416	818	2090	242	1072	251	18
2004	3248	4024	2808	749	2323	254	1234	514	31
2005	3685	4749	3028	872	2844	253	1252	553	11
2006	4254	5816	4396	1182	4081	352	1594	668	29
2007	6192	8085	5635	1435	5898	503	2039	924	61
2008	8411	11600	8025	1943	7128	578	2573	1064	53
2009	11180	17152	10530	2419	7984	897	3249	1485	62
2010	12741	21844	12312	2911	8433	726	3396	1533	74
2011	13549	24771	11769	2871	9021	830	3848	1376	104
2012	12748	24653	11482	2944	8841	832	3853	1402	127
2013	9820	19967	9932	2792	7754	749	3255	1360	168
2014	8812	14655	7849	2952	7167	661	3192	1308	206
2015	5908	9554	5971	2605	4681	371	2324	821	308
2016	1812	3036	1880	946	1509	165	729	270	113

Fuente: Our world in Data (Ritchie and Roser, 2017) y elaboración propia

Si se concreta una búsqueda sobre las tramitaciones en por la OEPM de invenciones sobre energía renovable, ha sido creciente en los últimos años (Gráfico 1), siendo más numerosas las patentes registradas sobre motores de viento desde el año 2012, con un total de 226 sobre 1.772 si se pudieran sumar las diez más relevantes de la búsqueda (tabla 6). Además hay 12 patentes que tienen extensión internacional mediante el *Patent Cooperation Treaty* (PCT). Respecto a la propiedad, con 13 títulos o más se encuentran empresas como Siemen Aktiengesellschaft, Vestas Wind Systems A/S, General Electric Company o Abengoa Solar New Technologies, S.A., y centros de investigación como la Universidad Politécnica de Madrid, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Universidad de Sevilla o el Instituto Francés del Petróleo (IFP Energies Nouvelles). El inventor con mayor número de títulos es el Sr. Miguel Ángel Fernández Gómez para las entidades Esteyco Energía, Sea Wind e Inneo Towers en materia de energía eólica.

Para hacer un análisis técnico más concreto de las invenciones, se han buscado por tecnologías de acuerdo con la siguiente cadena de búsqueda (6) en español en el buscador de la WIPO:

(6) ALL:(Energía) AND ES_DE:(«Eólica» OR «Solar Fotovoltaica» OR «Solar Termal» OR «Solar Híbrida» OR «Bio-energía» OR «Geo-term*»).

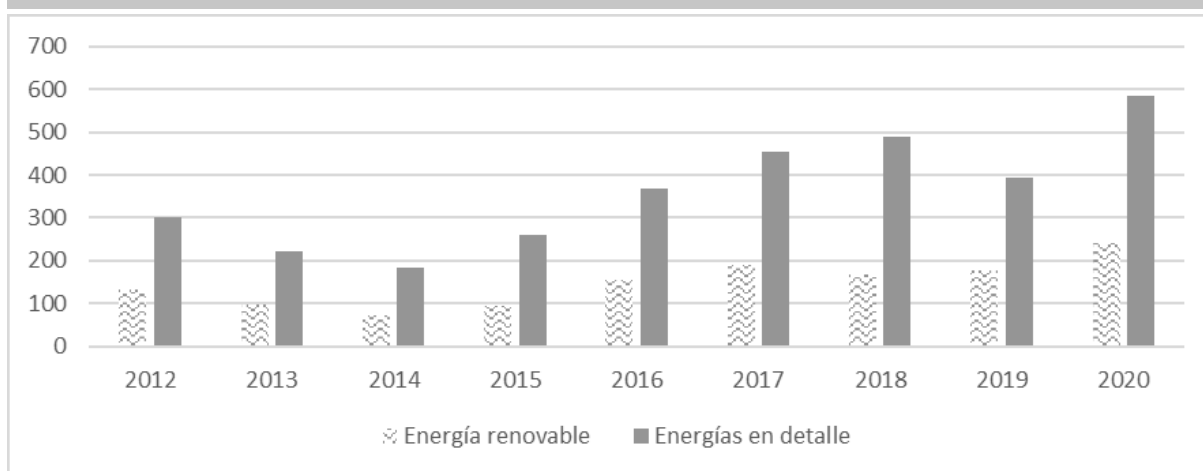
Ello proporciona información sobre el tipo de energías cuyas invenciones protegen obteniendo 4.688 documentos desde el año 2012 y 13 extensiones internacionales (Gráfico 1) cuya evolución ha sido cre-

ciente salvando los años 2013 y 2014, como ocurre también con la energía renovable.

La tabla 7 contiene las invenciones por código CIP una vez que se ha realizado la búsqueda (6) con las palabras clave de cada tipo de energía. Las empresas con mayor número de invenciones son Vestas Wind Systems A/S, General Electric Company con un inventor destacado por el gran número de títulos en los que ha participado, el Sr. Aloys Wobben desde distintas entidades.

Al percibirse claramente en España el dominio de las patentes en materia eólica, un análisis detallado sobre la misma en su categoría F03D (ver anexo 2) sobre motores de viento internacionalmente, muestra como la tecnología desarrollada por España tiene presencia considerando el acumulado desde 2012 muy por detrás de los grandes líderes tecnológicos que son China y los Estados Unidos de América o EEUU aunque puede verse una gran participación de las invenciones europeas o EPO (tabla 8). Otros análisis podrían realizarse comprobando para cada tecnología por categoría CIP (puede utilizarse la guía incluida en el anexo2), para detectar que España no tiene invenciones en otras que sitúen al país entre los diez primeros del mundo. Por ejemplo en energía solar (F24S y H02S), que tan prometedores resultados para el futuro presenta, de los países europeos solamente Francia y Alemania tienen una presencia destacable con 1.121 y 871 patentes, respectivamente. La OEPM tiene solamente 95 títulos y 15 PCT en esta temática.

GRÁFICO 1
INVENCIONES TRAMITADAS POR LA OEPM (2012-2020) SOBRE ENERGÍA RENOVABLE Y TIPOS DE ENERGÍAS EN ESPAÑA (6)



Fuente: WIPO y elaboración propia

TABLA 6
INVENCIONES REGISTRADAS POR CÓDIGO CIP SOBRE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA

CIP	Número de invenciones	Descripción
F03D	226	Motores de viento
F03B	193	Máquinas o motores de líquidos
H02J	180	Sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica
F24J	142	Producción o utilización del calor (no previsto en otros)
H01M	103	Procedimientos o medios, p. ej. baterías para conversión energía química en eléctrica
H01L	88	Dispositivos semiconductores
C12P	85	Procesos de fermentación que usan enzimas
C12N	75	Microorganismos o enzimas; composiciones
C02F	72	Tratamientos de aguas residuales
B01D	70	Separación por vía húmeda, magnética o electrostática de materiales sólidos o de campos eléctricos de alta tensión

Fuente: WIPO y elaboración propia

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis se ha realizado sobre documentación científica técnica acerca de las tecnologías que pueden facilitar una transición energética en España. Cabe destacar que el futuro apunta hacia una generación cada vez más distribuida, basada en energías renovables con almacenamiento y flexibilidad de la demanda. Por ello, es muy limitado analizar la generación, almacenamiento y distribución, especialmente sin considerar los aspectos de la movilidad sostenible (vehículo eléctrico). Es decir, que tecnologías que permiten el desarrollo de baterías y puntos de recarga rápida o ultrarrápida, las plataformas de gestión de flotas y cobros en sistemas de vehículo compartido, sistemas comerciales de pago, no se han considerado en este análisis sino que se ha centrado la atención en la electricidad, en concreto en su producción, almacenamiento y cadena de eficiencia. En futuros trabajos otros factores como la movilidad

sostenible o la construcción medioambiental que se podrían incluir (ver Kern y Smith, 2008) ya que no han sido considerados ante la diversidad con la que se tratan actualmente y/o la dificultad de reflejarlos en un título de propiedad como es una patente.

La transición energética será real en un sistema social que acoja las tecnologías que le sean útiles y el caso de la movilidad será especialmente sensible. Aunque la dependencia de los combustibles fósiles es cada vez menor, todavía se está lejos de erradicarlos del mix eléctrico en la mayoría de las economías, con la repercusión que tiene para la vida en el planeta (Abas, Kalair y Khan, 2015). Las cuestiones sobre construcción medioambiental, la movilidad inteligente o la dispersión por la España vaciada si las tecnologías avanzan discriminando a los productores y consumidores en función del territorio necesitan una investigación detallada que sobrepasa la problemática de las tecnologías emergentes.

TABLA 7
INVENCIONES REGISTRADAS POR CÓDIGO CIP POR TIPOS DE ENERGÍA EN ESPAÑA

CIP	Número de invenciones	Descripción
F03D	2036	Motores de viento
H02J	481	Sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica
F03B	227	Máquinas o motores de líquidos
H01L	215	Dispositivos semiconductores
H02K	177	Máquinas dinamoeléctricas
H02P	175	Control y regulación de motores eléctricos, generadores y convertidores
F24J	160	Producción o utilización del calor (no previsto en otros)
E04H	127	Construcciones para empleos particulares
H02M	126	Aparatos para transformación de corriente continua en alterna y viceversa; transformación, control
H01M	124	Procedimientos o medios, p. ej. baterías para conversión energía química en eléctrica

Fuente: WIPO y elaboración propia

TABLA 8
INVENCIONES REGISTRADAS INTERNACIONALMENTE POR PAÍS DESDE 2012 EN LA CATEGORÍA F03D (10 PRIMEROS)

País	Número de títulos
China	43.285
EEUU	13.647
PCT	10.553
EPO	10.279
Japón	8.715
Rep. Corea	7.395
Alemania	5.465
Dinamarca	4.064
España	3.645
Canadá	3.205

Fuente: WIPO y elaboración propia

Si la electricidad es la tecnología que protagoniza el centro de la transición energética (Blazquez, Fuentes y Manzano, 2020), en el caso de la generación eléctrica mediante energías renovables, Barkhouse *et al.*, (2015) señala la electricidad solar fotovoltaica como la fuente más relevante en el medio y largo plazo y además es la que tiene mayor número de patentes (Ritchie y Roser, 2017). Sin embargo, en España, la fortaleza técnica de las energías renovables radica –como se puede extraer del análisis realizado en este trabajo– fundamentalmente en los sistemas eólicos. Aun cuando hay grandes competidores en Europa –como Alemania y Dinamarca–, y fuera de ella –especialmente China– en tecnologías para energía eólica, una cuestión pendiente es el mayor desarrollo de las tecnologías para energía solar (fotovoltaica, termal o híbrida) objeto hoy de un bajo número de patentes y de entidades españolas que puedan generarlas.

Además, las invenciones registradas en España en materia de energía eólica (motores de viento) tienen mucha propiedad de centros de investigación que pueden no llegar a transferir a tiempo sus invenciones al tejido productivo debido a que suelen estar más centrados en servicios intensivos en conocimiento (Barge-Gil y Modrego, 2009). Por lo tanto, se puede señalar un potencial tecnológico como país en materia de viento pero cuando se analizan las empresas que disponen de títulos de patentes, las multinacionales tienen más presencia y oportunidad de trasladar la tecnología al mercado para uso del consumidor que las empresas medianas de capital totalmente español.

En el campo de la investigación, los sistemas híbridos de generación y almacenamiento están copando la atención para la transición energética. No hay trabajos españoles en estas tecnologías entre los más destacados ya que tienen menos componente técnico en relación a sus temáticas. Entre las aportaciones recientes a las cuestiones de transición energética, se encuentra el apunte a que las preferencias de los consumidores estarán cada vez más segmentadas por lo que hay un reto en la creación de modelos de negocio que podría aprovecharse (Blázquez, Fuentes y Manzano, 2020), a la vez que emergen otros sistemas organizativos en España que refuerzan la transición hacia las renovables (Capellán-Pérez, Campos-Celador y Terés-Zubiaga, 2018).

Entre los retos de innovación –considerando la demanda creciente de energía– se encuentran los siguientes (Mission Innovation, 2020): acceso a la electricidad fuera de red, captura del carbono, biocombustibles sostenibles, materiales de energía limpia, calefacción y refrigeración en edificios asequible y con bajas emisiones de dióxido de carbono, hidrógeno renovable y limpio. Los comportamientos de los consumidores tienen una gran importancia en que estos retos se hagan realidad, junto con las políticas públicas y la intervención para que se produzca un cambio de régimen tecnológico real (Kern y Smith, 2008; Steg, Perlaviciute y van der Werff, 2015).

Respecto a las políticas públicas para innovar en materia de transición energética, la Ley de Cambio Climático y Transición Energética[3] establece unos objetivos para 2030 y 2050 dirigidos a la reducción de emisiones, generación del sistema eléctrico mediante fuentes renovables, y mejora de la eficiencia energética pero todavía quedan muchos aspectos por impulsar desde el lado de la oferta y la demanda (compra, venta, generación y almacenamiento de energía eléctrica por los consumidores) recordando que las transiciones demandan de políticas mixtas para afrontar el cambio (Kivimaa y Kern, 2016).

En el caso de la política científica, cabe resaltar que las actuaciones dirigidas a favorecer el desarrollo de determinadas tecnologías pueden tener efectos sobre la evolución de otras, así como afectar a colectivos vulnerables en regiones como por ejemplo en España las comarcas del carbón. Las medidas paliativas, como pueden ser los llamados acuerdos de transición justa, difícilmente pueden ser una red que salve de la transición a todos los participantes en la misma. Aun con todo, asumiendo el escenario que se propone hasta 2050 por todo el mundo y -más próximo aún-, la Unión Europea, las inversiones en investigación y desarrollo de tecnologías que faciliten el acceso a las energías renovables, la electrificación, la eficiencia energética y las pequeñas instalaciones de generación conectadas a las redes de distribución tendrán prioridad sobre cualquiera otras en materia energética.

NOTAS

- [1] (SCI-EXPANDED) --1900-presente; Social Sciences Citation Index (SSCI) --1956-presente; Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) --1975-presente; Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S) --1990-presente; Conference Proceedings Citation Index- Social Science & Humanities (CPCI-SSH) --1990-presente; Book Citation Index- Science (BKCI-S) --2005-presente; Book Citation Index- Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH) --2005-presente; Emerging Sources Citation Index (ESCI) --2015-presente; Colección principal de Web of Science: Índices químicos; Current Chemical Reactions (CCR-EXPANDED) --1985-presente; (Incluye datos de estructuras del Institut National de la Propriete Industrielle de Francia hasta 1840); Index Chemicus (IC) --1993-presente.
- [2] En español, la página web que contiene la Clasificación: <http://cip.oepm.es/>
- [3] Todavía pendiente de aprobación a la finalización de este artículo.

REFERENCIAS

- Abas, N., Kalair, A. y Khan, N. (2015) 'Review of fossil fuels and future energy technologies', *Futures*. Elsevier Ltd, 69, pp. 31–49. doi: 10.1016/j.futures.2015.03.003.
- Barge-Gil, A. y Modrego, A. (2009) 'The impact of research and technology organizations on firm competitiveness. Measurement and determinants', *The Journal of Technology Transfer*, 36(1), pp. 61–83. doi: 10.1007/s10961-009-9132-4.
- Barkhouse, D. A. R. et al. (2015) 'Yield predictions for photovoltaic power plants: empirical validation, recent advances and remaining uncertainties', *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(1), pp. 6–11. doi: 10.1002/pip.
- Blazquez, J., Fuentes, R. y Manzano, B. (2020) 'On some economic principles of the energy transition', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 147(January), p. 111807. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111807.
- Capellán-Pérez, I., Campos-Celador, Á. y Terés-Zubiega, J. (2018) 'Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the energy transition in Spain', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 123(May), pp. 215–229. doi: 10.1016/j.enpol.2018.08.064.
- Gales, B. et al. (2007) 'North versus South: Energy transition and energy intensity in Europe over 200 years', *European Review of Economic History*, 11(2), pp. 219–253. doi: 10.1017/S1361491607001967.
- Griliches, Z. (1990) *Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey*, *Journal of Economic Literature*. doi: 10.1016/S0169-7218(10)02009-5.
- Kern, F. y Smith, A. (2008) 'Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands', *Energy Policy*, 36(11), pp. 4093–4103. doi: 10.1016/j.enpol.2008.06.018.
- Kivimaa, P. y Kern, F. (2016) 'Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions', *Research Policy*. Elsevier B.V., 45(1), pp. 205–217. doi: 10.1016/j.respol.2015.09.008.
- Leach, G. (1992) 'The energy transition', *Energy Policy*, 20(2), pp. 116–123. doi: 10.1016/0301-4215(92)90105-B.
- Mission Innovation, S. (2020) *Mission Innovation Beyond 2020: Challenges and opportunities*. Disponible en: <https://rockmtrnins.sharepoint.com/:w:/s/GCF-NetClimateFinance/EfuZ6XqoQ9NjMn8KZxTH-9ABr0CjhqYMM2XFJY4OJd9z-jA?e=AvfkKf>. Consultada el: 4 de enero de 2021.
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L. y Resende, L. M. (2015) 'Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication', *Scientometrics*, 105(3), pp. 2109–2135. doi: 10.1007/s11192-015-1744-x.
- Ritchie, H. y Roser, M. (2017) *Our world in data. Renewable energy*. Available at: www.ourworldindata.org/renewable-energy (Accessed: 4 December 2020).
- Rivera León, L. et al. (2018) *Economic Research Working Paper No. 28. Measuring innovation in energy technologies: green patents as captured by WIPO's IPC green inventory*.
- Smith, D. J. H. y Katz, J. S. (2004) *A review of the co-citation based Science Foresight process*.
- Steg, L., Perlaviciute, G. y van der Werff, E. (2015) 'Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition', *Frontiers in Psychology*, 6(June), pp. 1–17. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00805.
- Turnheim, B. y Geels, F. W. (2012) 'Regime destabilisation as the flipside of energy transitions: Lessons from the history of the British coal industry (1913-1997)', *Energy Policy*. Elsevier, 50, pp. 35–49. doi: 10.1016/j.enpol.2012.04.060.
- World Intellectual Property Organization (2021) *WIPO IPC Green Inventory*. Disponible en: https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/green_inventory/. Consultada el: 4 de enero de 2021.

ANEXO 1
ARTÍCULOS ORDENADOS POR SU ÍNDICE DE RELEVANCIA INORDINATIO

Nº	DOI ¹	IF	α	Año Pub.	Citas	IO
1	10.1016/j.apenergy.2011.11.081	8,86	0,8	2012	137	137,81
2	10.1016/j.rser.2017.05.067	12,11	0,3	2017	79	80,81
3	10.1016/j.enconman.2018.09.071	8,208	0,3	2018	40	42,11
4	10.1016/j.solener.2014.07.004	4,608	0,6	2014	39	40,80
5	10.1007/s11625-013-0229-1	5,301	0,6	2014	33	34,81
6	10.1016/j.renene.2018.08.022	6,274	0,3	2020	27	29,71
7	10.1016/j.apenergy.2018.04.097	8,846	0,3	2018	25	27,11
8	10.1016/j.jclepro.2019.118769	7,246	0,3	2020	22	24,71
9	10.1016/j.enbuild.2010.07.013	4,867	0,8	2010	22	21,20
10	10.1016/j.energy.2019.04.152	6,082	0,3	2019	18	20,41
11	10.1016/j.energy.2019.02.048	6,082	0,3	2019	18	20,41
14	10.1016/j.rser.2015.04.089	12,11	0,6	2015	16	18,41
12	10.1016/j.enconman.2017.06.057	8,208	0,3	2017	16	17,81
15	10.1016/j.enbuild.2016.03.078	4,867	0,6	2016	14	17,00
16	10.1016/j.apenergy.2017.04.081	8,848	0,3	2017	12	13,81
17	10.1016/j.enconman.2019.111938	8,208	0,3	2019	11	13,41
18	10.1016/j.energy.2018.11.108	6,082	0,3	2019	11	13,41
22	10.1016/j.enbuild.2017.08.059	4,867	0,3	2017	8	9,80
23	10.3390/en12040577	2,702	0,3	2019	7	9,40
24	10.1016/j.enconman.2020.112611	8,208	0,3	2020	6	8,71
25	10.1016/j.fuel.2019.05.074	5,578	0,3	2019	6	8,41
26	10.1016/j.seta.2019.02.006	3,427	0,3	2019	6	8,40
27	10.1115/1.4029930	1,804	0,6	2015	5	7,40
28	10.1016/j.apenergy.2019.114138	8,848	0,3	2020	4	6,71
29	10.1016/j.enconman.2019.112322	8,208	0,3	2020	4	6,71
30	10.1016/j.est.2018.11.018	3,762	0,3	2019	4	6,40
31	10.1080/00295450.2018.1518555	0,98	0,3	2019	4	6,40
33	10.1016/j.est.2019.100791	3,762	0,3	2019	3	5,40
35	10.1039/d0se00608d	5,503	0,3	2020	2	4,71
38	10.1016/j.renene.2019.08.075	6,274	0,3	2020	1	3,71
37	10.1007/s12273-019-0590-9	2,472	0,3	2020	1	3,70
42	10.1016/j.renene.2020.08.090	6,274	0,3	2020	0	2,71
44	10.1002/er.5093	3,741	0,3	2020	0	2,70
45	10.1002/er.5130	3,741	0,3	2020	0	2,70
43	10.1007/s12206-020-0923-8	1,345	0,3	2020	0	2,70

¹ El DOI o *Digital Object Identifier* es un identificador único y permanente para las publicaciones electrónicas desde 1998. Desde 2012 es un código alfanumérico adoptado como estándar internacional ISO 26324. El prefijo identifica al editor y el sufijo identifica el objeto digital (tiene una estructura variable, según el editor).

ANEXO 2
CIP PARA INVENCIÓNES DE PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

Tipos de invención	Código Internacional de Patentes
Producción de energía alternativa	
Bio-combustibles: Gasificación integrada de ciclo combinado (IGCC)	C10L 3/00; F02C 3/28
Pilas de combustible:	H01M 4/86- 4/98, 8/00-8/24, 12/00
Pirólisis o gasificación de biomasa	C10B 53/00; C10J
Hidroeléctrica: conversión de termal oceánica	F03G 7705
Energía eólica	F03D
Energía solar	F24S; H02S
Energía Geotermal	F24T
Conservación de energía	
Almacenamiento de energía eléctrica	B60K 6/28; B60W 10/26; H01M 10-44; H01 G 11/00; H02J 3/28; H02J
Circuitería de suministro eléctrico	H02J
Almacenamiento de energía termal	C09K 5/00; F24H 7/00; F28D 20/00; F28D 20/02
Aislamiento térmico para edificios	E04B 1/62, 1/74, 1/80; 1/88, 1/90;
Recuperación de energía mecánica	F03G 7/08