



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Importancia de la innovación en la generación de energías renovables intermitentes a nivel mundial

Importance of innovation in the generation of intermittent renewable energies worldwide

Ollivier-Fierro, J.O.^a, Robles-Villa, J.^b, Flores-García, M.A.^b

^{a,b} Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., C.P. 31125.
jollivier@uach.mx; roblesvilla7@gmail.com; floresg13@hotmail.com

Innovación tecnológica: Las patentes incrementan el uso de energías renovables intermitentes.

Área de aplicación industrial: La industria de energías renovables intermitentes, solar y eólica.

Recibido: 02 junio 2021

Aceptado: 02 agosto 2021

Abstract

According to the UN 2030 agenda in its goal 7 and the importance of the transition to clean energies, the purpose of this study was to analyze statistical relationships at a global level between innovations in renewable energies, expressed in patents, and installed capacity in these energies with intermittent characteristics such as solar and wind. The method was based on the analysis of documents from international organizations, such as the International Renewable Energy Agency (IRENA) and the European Patent Office (EPO). The units of analysis were the first 100 countries in renewable energies electrical capacity, corresponding to 98.7% of it worldwide. Among the main findings, a strong concentration in renewable energy patents in five countries was found using the K-means cluster classification technique, as well as a high significant positive correlation between the number of said patents and the installed energy capacity on intermittent renewables, which allowed to verify the hypothesis raised and conclude that the countries that have devoted greater efforts to innovation and patents in renewable energies have also made greater progress in their intermittent energy capacity. These results may have implications both in the solar and wind energy industry, as well as in governments for the design of public policies. The main limitations derive from the veracity of the information collected. The originality lies in not having found a similar study in the literature that relates these variables.

Keywords: Capacity in renewable energies, Intermittency, Patents in renewable energies, Renewable energies.

Resumen

En congruencia con la agenda 2030 de la ONU en su objetivo 7 y la importancia de la transición hacia las energías limpias, el propósito del presente estudio fue analizar relaciones estadísticas a nivel mundial entre las innovaciones en energías renovables, expresadas en patentes y la capacidad instalada en estas energías con características de intermitencia como son solar y eólica. El método se basó en el análisis de documentos de organismos internacionales, como fueron la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Oficina Europea de Patentes (EPO). Las unidades de análisis fueron los primeros 100 países en capacidad eléctrica en energías renovables correspondiente a 98.7% de la misma a nivel mundial. Dentro de los principales hallazgos, se encontró empleando la técnica de clasificación de conglomerados de K-medias, una fuerte concentración en patentes en energías renovables en cinco países, así como una alta correlación positiva significativa entre la cantidad de dichas patentes con la capacidad instalada de energías renovables intermitentes, lo cual permitió comprobar la hipótesis planteada y concluir que los países que han dedicado mayores esfuerzos a la innovación y patentes en energías renovables han también logrado mayores avances en su capacidad de energías intermitentes. Estos resultados pueden tener implicaciones tanto en la industria de energías solar y eólica, como en los gobiernos para el diseño de las políticas públicas. Las principales limitaciones se derivan de la veracidad de la información recolectada. La originalidad reside en no haber encontrado en la literatura un estudio similar que relacione estas variables.

Palabras Clave: Capacidad en energías renovables, Energías renovables, Intermitencia, Patentes en energías renovables.

1. Introducción

La toma de conciencia creciente sobre el daño antropogénico al medio ambiente, que pone en riesgo la sostenibilidad de las condiciones que hacen habitable el planeta, ha llevado a los países a tomar diferentes medidas correctivas recomendadas por la comunidad científica internacional, como han sido las directrices emitidas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC *por su sigla en inglés*) y la Agencia Internacional de Energía (IEA *por su sigla en inglés*) (UN, 2003; Budescu *et al*, 2014; Krugman, 2016; IEA, 2020).

Estas directrices que son orientadas a combatir la mayor parte de dichos daños ambientales, han conducido al nuevo paradigma del crecimiento económico denominado *desarrollo sostenible* enarbolado por la ONU en la Agenda 2030 que establece

los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de los cuales se toma como referencia para el presente estudio el Objetivo No. 7 que trata de la energía asequible y no contaminante, como una solución a los problemas generados debido el uso abusivo de los recursos naturales no renovables como son los combustibles fósiles (Thomas, 2011; Gil, 2018).

En la dirección de este objetivo para el desarrollo sostenible, está la tendencia a introducir e incrementar en la matriz energética de los diferentes países la generación de energía limpia a partir de fuentes renovables amigables con el medio ambiente, como son las tecnologías: solar, eólica, hidráulica, geotermia, biomasa y mareomotriz, todas ellas orientadas a una transición hacia las denominadas energías limpias como una importante contribución al objetivo de lograr economías bajas en carbón

para combatir el cambio climático (Clark *et al.*, 1993; Valencia *et al.*, 2015; Ollivier *et al.*, 2020).

Estas energías renovables, pueden ser empleadas como energía primaria para generar calor o electricidad, siendo este último uso el mayormente empleado y considerado en el presente estudio. No obstante, a pesar de las ventajas que ofrece la generación de energía eléctrica no contaminante por fuentes renovables, estas se caracterizan por tener como desventaja un grado de intermitencia en la producción del flujo eléctrico que depende de factores naturales no controlables o gestionables, como es el caso de la solar y la eólica que dependen de la exposición solar y la velocidad del viento respectivamente. Por esta razón pueden provocar problemas en la seguridad y estabilidad de las redes eléctricas a las que están conectadas, sin embargo, dadas las grandes ventajas que presentan como energías limpias y ser cada vez más rentables económicamente, se han desarrollado soluciones tecnológicas que minimizan estos problemas de intermitencia, como son las diversas tecnologías para el almacenamiento de energía y la gestión coordinada de las redes con base en la previsión de las interrupciones (OCDE/IEA, 2009; Guacaneme *et al.*, 2014).

Lo anterior se puede observar en el número de patentes a nivel mundial, de acuerdo a las estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, *por su sigla en inglés*), con base en datos de la Oficina Europea de Patentes¹ (EPO), del total de patentes en energías renovables a nivel mundial que sumaban 681,151 acumuladas hasta 2019, la proporción de estas en tecnologías de energías solar y eólica fue su gran mayoría, del orden de 74%, lo cual pone

de relieve el esfuerzo en el desarrollo de estas tecnologías (IRENA, 2021).

Concomitante al registro de patentes está la producción científica, en la cual el número de artículos científicos relacionados con las energías renovables (ER), en revistas del índice SCI (*Science Citation Index*), presenta un crecimiento acelerado y continuo desde el año 2000. La producción mundial en este rubro ha llegado a cuadruplicarse en once años, mientras que el número total de publicaciones en él apenas alcanzaba los 1,816 en el año 2000, en 2011 éste alcanza las 9,460 publicaciones en dicho índice (OEI, 2013; European Commission, 2014).

Tomando en consideración estos datos, el problema de investigación del presente estudio fue la falta de información estadística que mostraran la relación entre las innovaciones a través de las patentes en energías renovables (PatER) y la capacidad instalada de estas energías intermitentes (ERI), expresada en Mega Watts (MW), en los diferentes países del mundo.

De este problema se derivó el objetivo general que fue conocer la relación estadística entre las innovaciones a través de las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en estas energías intermitentes, en los diferentes países del mundo, del cual se desprendieron los siguientes objetivos específicos (OE):

OE1. Identificar la correlación entre las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en estas energías renovables de todo tipo en los diferentes países.

OE2. Identificar la correlación entre las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en estas

¹ La fuente de estos datos es de EPO PATSTAT y Climate Change Migration Technologies (YO2).

energías intermitentes en los diferentes países.

La principal justificación del presente estudio será el beneficio a las organizaciones con planes de producir electricidad a partir de energías limpias, como pueden ser las empresas o los gobiernos, los cuales podrán identificar la evidencia científica estadística de la relación que existe entre el desarrollo de la tecnología y los beneficios que puede obtener en la solución de los problemas relacionados a las fuentes de energía renovables intermitentes. Así mismo, este beneficio local a nivel de empresa o país redonda en un beneficio a la humanidad en la disminución de los gases de efecto invernadero al promover energías amigables con el medio ambiente, alineado con el ODS 7 de la ONU (Budescu *et al*, 2014).

Como hipótesis se plantea, Ha: En los diferentes países del mundo, a mayor número de patentes en energías renovables se tiene una mayor capacidad instalada de energías renovables intermitentes.

Las principales limitaciones del estudio son derivadas de la calidad de las fuentes de información del estudio proveniente de los organismos internacionales, como fueron: i) la veracidad en la información que proporcionan los diferentes países a estos organismos internacionales; ii) el rezago de tiempo que existe en la recolección y actualización de información por estos organismos internacionales.

Los supuestos o premisas de las que parte el estudio son: i) las energías renovables intermitentes solar y eólica son amigables con el medio ambiente; ii) la tendencia de las energías renovables intermitentes es ser cada vez más económicas por Watt o unidad de energía; iii) los desarrollos tecnológicos a nivel mundial ofrecen el potencial de resolver, al menos parcialmente, problemas

técnicos como es el de la intermitencia en la generación de energía.

1.1 Eje teórico

Como es consabido, la crisis económica internacional de 1973 cuestionó el modelo de crecimiento económico que partía de la base que, la naturaleza ofrecería de forma ilimitada los recursos y que a su vez era compatible con la preservación a futuro del medio ambiente. Esta crisis provocó el surgimiento de reflexiones críticas como fue Redclift (1996), señalando que: "*los efectos externos, entre los que destaca el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, no son consecuencia de la escasez, sino de la imprudencia e insostenibilidad características de los sistemas de producción*". Al punto que se propone incluir en el cálculo del PIB como una externalidad, el costo para descontaminar el medio ambiente de las actividades que lo contaminan generadas por los agentes económicos (Kosenius y Ollikainen, 2013).

A partir de esta crisis se desarrollaron diferentes teorías, como fue la de las tres dimensiones del desarrollo sostenible que postula que las dimensiones económicas, sociales y ecológicas son indisociables, es decir, para lograr el crecimiento económico es necesario un desarrollo social equitativo y respetuoso con el medio ambiente (Artaraz, 2002).

Otra aportación teórica al movimiento de la defensa ambiental, es la teoría de la *modernización ecológica*, propuesta por los investigadores Mol, Janicke y Huber (2020), como una opción al desarrollo sostenible, la cual lo considera limitado para reunir el tema ecológico con el económico. Esta teoría propone argumentos para el análisis de la relación entre el proceso de modernización y la degradación del ambiente, sobretodo en el

ámbito de los países industrializados, señala que el tema ambiental, plantea una modernización de las instituciones hacia el tema ambiental para lograr una mayor interacción entre la economía y ecología, que permita internalizar las externalidades y desarrollar tecnologías menos nocivas con el medio ambiente, postulando la integración de la racionalidad ecológica con la racionalidad económica (Mol y Spargaaren, 2000).

Por definición, las fuentes de energía renovable, son aquellas que no se agotan con su uso, retornando a su estado original o regenerándose a un ritmo igual o mayor con el utilizado, por lo que pueden ser considerados como perpetuos, caracterizándose por tener un impacto nulo o menor al medio ambiente (Martín, 2017).

Adicionalmente a la ventaja de no ser contaminantes, del punto de vista de los costos las energías renovables actualmente se encuentran en general superiores a las de las energías convencionales basadas en combustibles fósiles, sin embargo, se observa una caída progresiva en los costos de producción de las primeras, llegando a ser entre 5 y 10 veces menores a lo que se tenían en la década de los años 80's. La mayor parte de ese progreso se debe a los esfuerzos de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en energías renovables, sumado a las economías de escala de la industria en los últimos años a nivel mundial (APPA, 2021; IEA, 2020).

Desde el punto de vista de la aceptación social de las energías renovables, la teoría más aceptada es la de las *representaciones sociales*, la cual señala que normalmente la población está de acuerdo en la creación de infraestructura de gran escala para estas energías a cierta distancia, pero está menos de acuerdo en su cercanías, fenómeno social conocido como NIMBY (*del inglés, Not In My Back Yard*), el cual explica la brecha

existente entre la actitud y la conducta de la gente en estos casos, situación que debe ser manejada por los gobiernos y las empresas con las poblaciones locales (Batel y Devine-Wright, 2015).

Sobre este tema de la aceptación por la población, los estudios sociales recientes han mostrado que las fuerzas del mercado y la conciencia ecológica han incrementado la aceptación social en la creación de la infraestructura de las energías renovables, cuya decisión involucra un gran número de factores, como son: el financiamiento, la ingeniería, el ambiental, los gobiernos y sobre todo la creciente necesidad de energía eléctrica (Silvast, 2017).

En cuanto al tema de la variabilidad de las energías renovables solar y eólica, se han desarrollado teorías y soluciones, si no totales, sí parciales para mitigar y compensar estas interrupciones que son en buena medida previsibles con la tecnología moderna, en este sentido ha habido avances considerables en las tecnologías de los sistemas de almacenamiento de energía y la gestión de redes eléctricas de suministro, haciendo notar en que no existe una solución universal, sino en función de las características de la oferta y demanda de la red, se puede disponer de diferentes soluciones tecnológicas específicas para los diferentes casos (Rey y Álvarez-Campana, 2007; Guacaneme *et al*, 2014; Sinsel *et al*, 2020).

Dentro de los países líderes en la generación de energía eléctrica por fuentes renovables intermitentes, se encuentran, Dinamarca, Alemania y el estado de California, que aseguran poder lograr un 80% del total de la capacidad eléctrica por estas fuentes adoptando estrategias basadas en las siguientes medidas: demanda flexible, suministro flexible, almacenamiento en baterías, redes de mayor dimensión interconectadas y mejores pronósticos. Todas

estas medidas gestionadas y articuladas con una regulación gubernamental adecuada (Bond *et al*, 2021).

Referente al almacenamiento de energía para mitigar la intermitencia, los principales sistemas son: el hidroeléctrico basado en el bombeo, las baterías y las pilas de combustible, de los cuales su selección está en función de las características de su rendimiento, el recurso o combustible empleado y la relación entre los costos de almacenamiento *versus* su aportación a la capacidad de generación (Barton, 2004; Suberu *et al*, 2014).

Se ha observado que la derrama de conocimiento causada por el desarrollo de patentes en baterías para el almacenamiento de energía ha dado un fuerte impulso al avance de las tecnologías en energías renovables de tipo intermitente (Noailly y Shestalova, 2017). Un estudio de la OCDE (2010), mostró que un incremento del 10% en el esfuerzo en investigación y desarrollo (I+D), orientado a la generación de patentes en dispositivos para el almacenamiento de energía, rindió dos veces más frutos en energías renovables que el mismo incremento en esfuerzo en patentes sólo para la generación de energía, lo cual pone de relieve la importancia de las estrategias en el desarrollo de patentes para el almacenamiento de energía (Johnstone y Hascic, 2010).

Por otra parte, tal como lo muestra la teoría matemática en los modelos estocásticos, otro factor importante que influye en la mitigación de la intermitencia, es el aspecto aleatorio de las condiciones meteorológicas asociado a la distancia entre las plantas de energías renovables intermitentes o variables (VRE *del inglés variable renewable energy*), dichos modelos establecen que a mayor distancia entre las plantas VRE, disminuyen las probabilidades de que un mismo fenómeno

meteorológico pueda causar efectos negativos a dos o más plantas VRE, mitigando de esta forma la variabilidad en la red eléctrica donde se encuentran interconectadas estas plantas (Rakhmonov y Reymov, 2020).

En cuanto a la asociación entre las patentes y las energías renovables intermitentes, la literatura muestra estudios que indican un claro incremento o boom de estas patentes en el presente siglo, particularmente en las solar y eólica, con un crecimiento del orden de 15 y 20% respectivamente en la última década, ritmo comparable al de las tecnologías de información y comunicaciones. De la misma forma, a nivel de empresa se pone de relieve la relación positiva de la innovación y el registro de patentes con el desarrollo de las energías renovables (Lazkano *et al*, 2017).

Cabe notar que, el desarrollo de patentes en energías renovables se inició en la década de los 70's del siglo pasado con la crisis energética, sin embargo, durante los 80 y 90's caracterizados por el uso intensivo de los combustibles fósiles, pasaron por una etapa sin crecimiento hasta el inicio del presente siglo en que se detonaron nuevamente las inversiones en I+D y su consecuente incremento en patentes. Este cambio, se debió principalmente al deterioro ambiental del efecto invernadero causado por las energías fósiles y por otra parte a la competitividad económica creciente de las energías solar y eólica, lo cual ha llevado entre otras medidas a la promoción de la agenda 2030 de la ONU, que contiene el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) No. 7 (Tranick, 2014).

El ODS 7 de esta agenda cuyo lema, “Energía asequible y no contaminante”, propone acciones hacia buenas prácticas enfocadas en la siguiente meta:

“De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la

energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias”.

Meta que pone de relieve la importancia de la investigación en el desarrollo de las energías limpias, incluidas las renovables intermitentes (Oviedo, 2020).

Referente a la inversión que se hace anualmente a nivel mundial en energías renovables, ha sido del orden de 300,000 millones de USD en los últimos cinco años, con la excepción del 2020 que disminuyeron 34% debido al estancamiento económico por la pandemia, siendo la mayor parte de esta inversión 86%, realizada por el sector privado. Del punto de vista geográfico, la zona con mayor inversión fue en Asia, particularmente en China, seguida de los países de la OCDE. En cuanto al tipo de energía en las que se aplicaron estas inversiones, fue la solar 46% y a la eólica 36%, lo cual pone de relieve el interés en el desarrollo de estas tecnologías intermitentes. Estas inversiones incluyen todos los rubros asociados a la creación de estas tecnologías, como son la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). Se proyecta que, para dar cumplimiento a los objetivos de los acuerdos de París de evitar un incremento de 2 grados Celsius en el planeta, se requerirán inversiones anuales a nivel global en energías renovables del orden de 800,000 USD hasta el año 2050 (IRENA y CPI, 2020).

Por otra parte, desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia, otra teoría que muestra las ventajas de las energías renovables es la de las *tecnologías entrañables*, la cual postula que las tecnologías en general, deben ser comprensibles y asequibles para poder intervenir en su operación y mantenimiento

por los usuarios, como es el caso de los paneles solares (Quintanilla *et al*, 2017).

2. Método de investigación

Se trata de una investigación con enfoque cuantitativo, no experimental, transversal, de conocimiento aplicado, basada en estudios empíricos, con un alcance o nivel de profundidad correlacional.

El diseño del estudio se basó en la información documental más reciente de organismos internacionales como fue la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, *por su sigla en inglés*), la Organización Mundial de la Protección Intelectual (OMPI), la Oficina Europea de Patentes (EPO *por su sigla en inglés*), el Banco Mundial (BM) y la Agencia Internacional de Energía (IEA *por su sigla en inglés*), referente a los temas de las energías renovables, particularmente las de carácter intermitente como son la solar y eólica.

Las unidades de análisis fueron los primeros 100 países que tienen una capacidad eléctrica instalada en energías renovables en 2018 para el suministro a las redes públicas. Esta capacidad es del orden de 2,325,719 Mega watts (MW), que correspondía al 98.7% de la capacidad eléctrica instalada en el mundo que era de 2,356,065 MW, por lo que se considera una muestra suficientemente representativa.

Las principales variables fueron:

- La capacidad de las energías renovables en la producción de electricidad en MW (predictora),
- El número de patentes en tecnología de energías renovables (predictora).
- La capacidad de las energías renovables intermitentes en la producción de electricidad, como fueron la solar y eólica en MW (dependiente).

Las principales limitaciones fueron: i) la confiabilidad y actualización de los datos que ofrecen los organismos internacionales mencionados; ii) el considerar sólo la producción de electricidad.

La estrategia de análisis consistió primeramente en clasificar los países en función de las patentes en energías renovables, como un indicador de innovación y desarrollo tecnológico, con la técnica de conglomerados de K-medias, así como las correlaciones entre el número de patentes en energías renovables con la capacidad instalada de estas energías en general y con las intermitentes en particular, finalmente, se llevó a cabo un análisis de regresión para establecer un modelo de la relación de estas variables. En todos los casos se empleó el software estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS).

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra el análisis de resultados en las siguientes etapas:

- 1) Presentación de un panorama general descriptivo de las principales variables en los primeros países con

mayor capacidad de generación de energía eléctrica con energías renovables.

- 2) Clasificación de los 100 primeros países en función de las patentes en energías renovables, con la técnica de conglomerados de K-medias.
- 3) Igualmente, para los primeros 100 países, las correlaciones entre las energías renovables de todo tipo e intermitentes y las patentes en energías renovables, incluyendo análisis de un modelo de regresión lineal.

3.1 Panorama general de las principales variables

A continuación, se muestran para los 20 primeros países con capacidad eléctrica con energías renovables intermitentes, el valor de las siguientes variables: capacidad en la generación de energía eléctrica con energías renovables en MW, capacidad en la generación de energía eléctrica con energías renovables intermitentes en MW, porcentaje de las intermitentes sobre las energías renovables totales y las patentes acumuladas en energías renovables en 2018.

Tabla 1. Principales variables en los 20 primeros países con capacidad eléctrica con energías renovables intermitentes, solar y eólica en 2018.

País	Capacidad eléctrica en energías renovables (en MW)	Capacidad eléctrica en energías renovables intermitentes (en MW)	Proporción de energías renovables intermitentes del total de energías renovables (%)	Patentes acumuladas en energías renovables
China	695,488	330,357	47.50	168,128
USA	246,596	140,313	56.90	102,680
Germany	119,296	103,788	87.00	30,969
India	118,079	56,914	48.20	1,459
Japan	90,579	54,710	60.40	82,982
UK	44,051	35,637	80.90	7,120
Spain	48,257	30,354	62.90	9,682
Italy	53,161	30,036	56.50	3,048
France	50,527	23,343	46.20	7,174
Canada	100,140	15,422	15.40	15,930
Brazil	136,156	14,296	10.50	6,752
Australia	22,884	13,593	59.40	15,587
Turkey	42,230	10,811	25.60	516
Netherland	9,803	8,803	89.80	1,904
Sweden	29,244	7,223	24.70	1,301
Belgium	8,242	7,113	86.30	305
Denmark	8,925	6,970	78.10	5,664
Portugal	13,767	5,810	42.20	1,657
Greece	9,020	5,430	60.20	847
Mexico	22,128	4,873	22.02	4,448

Autor. Elaboración propia con base en estadísticas de IRENA.

Se observa en la Tabla 1, que en términos absolutos en generación de energía eléctrica por medios renovables (MW), destacan en orden descendiente: China, Estados Unidos, Brasil, Alemania e India. En cuanto a la generación de energía eléctrica por energías renovables intermitentes (MW), destacan: China, Estados Unidos, Alemania, India y Japón.

Sin embargo, en cuanto a la proporción de energías renovables intermitentes, de la capacidad de energías renovables en total, destacan los países europeos, Holanda Alemania, Bélgica, Reino Unido y Dinamarca. Cabe observar que existen otros dos países que no se encuentran en la tabla 1, por ser relativamente pequeños y no tener valores absolutos importantes en cuanto a la

generación de energía eléctrica intermitente en MW, pero que destacan por su gran proporción de estas energías en relación al total de energías renovables, como son: Irlanda con 90.8% y Lituania con 75.2%.

3.2 Clasificación de acuerdo al número de patentes

En función del registro de patentes en tecnologías de energías renovables, dada la amplitud del espectro se realizó una clasificación en siete grupos empleando la técnica de conglomerados de K-medias. Por razones de espacio el grupo siete con el menor número de patentes, se separa su tabla debido a la gran cantidad de países en este último grupo.

Tabla 2. Clasificación de acuerdo al número de patentes acumuladas hasta 2018 sobre energías renovables.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	
Centro de clúster:	Centro de clúster:	Centro de clúster:	Centro de clúster:	Centro de clúster:	Centro de clúster:	
168,128	102,680	82,982	52,048	30,969	13,876	
China	USA	Japan	Korea Rep.	Germany	Spain Canada Australia Taiwan	
Grupo 7 Centro de clúster: 1,402						
India	Denmark	Finland	Panama	Tajikistan	Ukraine	Hungary
UK	Portugal	Switzerland	Costa Ric	Georgia	Philippi	El Salva.
Italy	Greece	Bulgaria	Argentina	Iceland	Peru	Israel
France	Mexico	Uruguay	Slovenia	Albania	South Afr.	Cuba
Brazil	Romania	Norway	Russian	Viet Nam	Taiwan	Singapor
Turkey	Austria	New Zelan	Monteneg	Colombia	Egypt	
Netherlan	Ireland	Croatia	Latvia	Indonesia	Morocco	
Sweden	Chile	Lithuania	Ecuador	Poland	Guatemala	
Belgium	Czechia	Slovakia	Serbia	Malaysia	Kenya	

Autor. Elaboración propia con base en estadísticas de IRENA.

Se observa en la Tabla 2, que de los 100 países de la muestra sólo 68 reportan patentes en este rubro. Por otra parte, esta clasificación pone de relieve la gran concentración en el desarrollo de tecnología en energías renovables, medida a través de la capacidad de innovación por el número de patentes, de las cuales la inmensa mayoría, más del 75%, se concentra en cinco países, China, USA, Japón, Corea del Sur y Alemania.

Cabe observar el fuerte crecimiento que ha tenido China en los últimos años en el registro de patentes, no sólo en energías renovables sino en general, siendo el país que más patentes registra en los últimos años en todos los campos, como fueron 1,400,661 en 2019, correspondiente a 43% del total a nivel mundial, que representa más del doble del

país que le sigue, los EEUU con 621,453, en ese año, siendo las áreas tecnológicas con el mayor número de patentes, el de las máquinas eléctricas que incluye la energía y las tecnologías de computación (OMPI, 2020).

3.3 Análisis de la relación entre las energías renovables y sus patentes

Se analiza la correlación entre las patentes en energías renovables y la capacidad de energías renovables total e intermitente, así como un análisis de regresión. Las unidades de análisis fueron los primeros 100 países que tienen una capacidad instalada en energías renovables en 2018 para el suministro a las redes públicas. Se presentan las correlaciones entre el número de patentes en energías renovables con la capacidad de estas energías total e intermitentes.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre las variables número de patentes en energías renovables con la capacidad de estas energías total e intermitentes.

Variable	Patentes acumuladas en energías renovables	Capacidad en energías renovables en MW
Patentes acumuladas en energías renovables	1	
Capacidad en energías renovables en MW	0.882**	1
Capacidad en energías renovables intermitentes en MW	0.929**	0.970**

Nota: ** es significancia menor a 0.01.

Autor. Elaboración propia con base en estadísticas de IRENA.

Se observa en la Tabla 3, altas correlaciones significativas ($P < 0.01$), entre las innovaciones medidas a través de las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en energías renovables, tanto de todo tipo como intermitentes.

Modelo de regresión. Tomando como variable dependiente la capacidad en energías renovables intermitentes en MW (ERI) y la variable predictora las patentes acumuladas en energías renovables (PatER), se analizaron diferentes ajustes de curvas, resultando el siguiente modelo de regresión cúbico **Ec. (1)**, con el mayor coeficiente de determinación R^2 de 0.927, ($P < 0.01$).

$$ERI = 1,984.157 + 2.613 \text{ PatER} - 3.21 \text{ PatER}^2 + 1.68E-10 \text{ PatER}^3 \quad (\text{Ec. 1})$$

Se observa en la ecuación (1), la relación positiva de las patentes (PatER en el primer y tercer orden) en la variable dependiente capacidad de las energías intermitentes (ERI), haciendo notar que, en el tercer orden tiene un efecto multiplicador el desarrollo de las patentes sobre la variable dependiente al elevarse al cubo con signo positivo, lo cual se puede apreciar visualmente en el diagrama de dispersión de la Fig. 1.

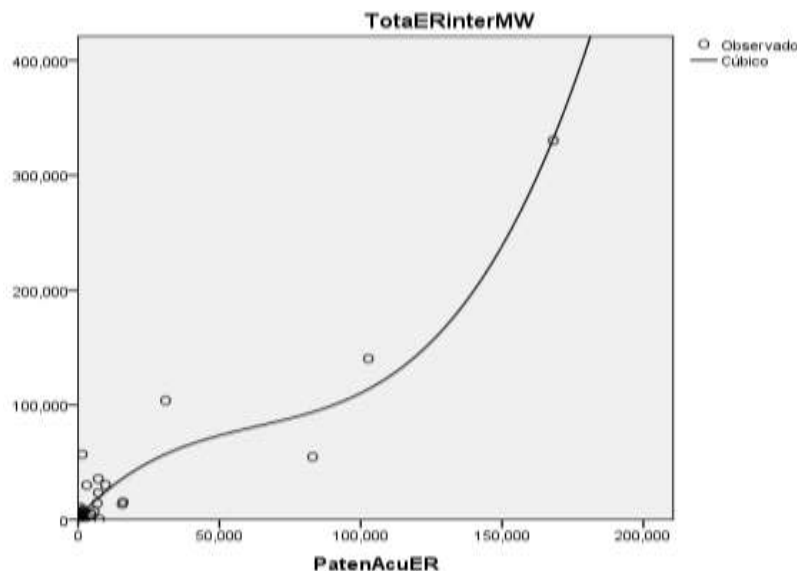


Figura 1. Diagrama de dispersión que muestra la capacidad instalada del total de energías renovables intermitentes (ERI) en MW y patentes acumuladas en Energías Renovables (PatER). Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de IRENA.

En la Fig. 2 se muestran en los diez primeros países que operan energías renovables intermitentes (ERI), en una gráfica de doble

eje donde el número de patentes acumuladas se lee en el eje derecho y las energías en el izquierdo en MW.

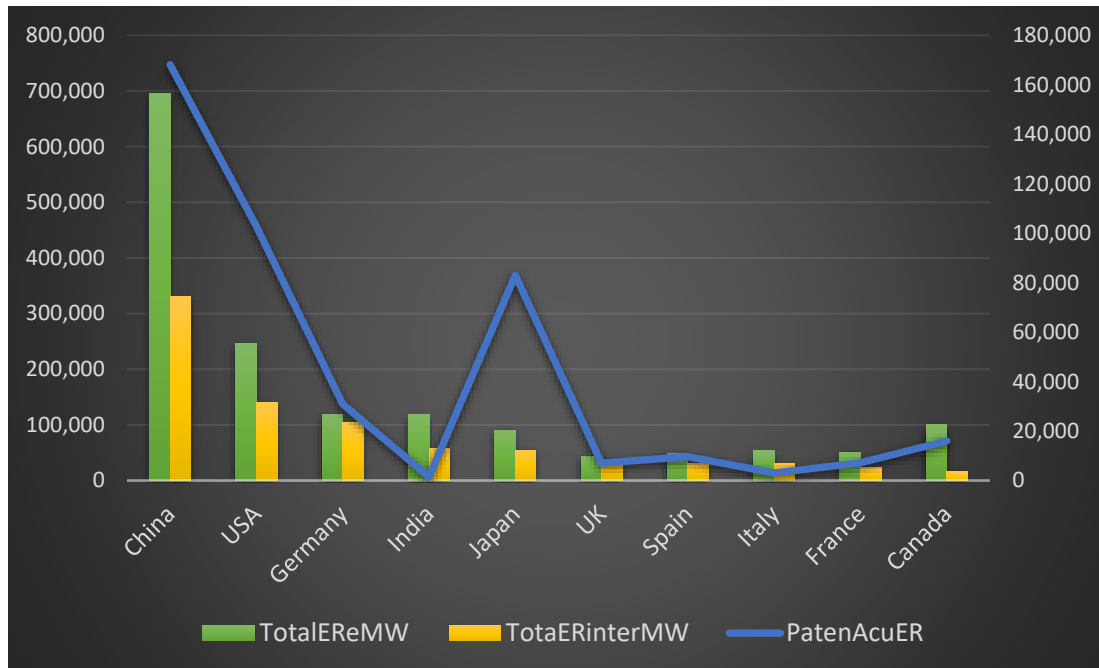


Figura 2. Capacidad instalada del total de energías renovables (ER) y de energías renovables intermitentes (ERI) y patentes en ER en los diez primeros países con ERI. Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas de IRENA.

Se constata visualmente la correlación entre la capacidad de las ER y las ERI, así como con el número de patentes en ER. Cabe observar, el bajo número de patentes en India y el alto número de ellas en Japón, lo cual sugiere que este último país es un generador de tecnología de ER y la India un posible consumidor de estas tecnologías.

3.4 Discusión

De la clasificación por K-medias de las patentes en energías renovables acumuladas en 2018, se observó una gran concentración en el desarrollo de tecnología en energías renovables, medida a través de la capacidad de innovación por el número de patentes, de las cuales la inmensa mayoría, más del 75% se concentra en cinco países, China, USA, Japón, Corea del Sur y Alemania. Este resultado coincide en buena medida con los

resultados encontrados por Trancik (2014), en los que menciona que más del 60% de las patentes en energías renovables están concentradas en dos países, China y los EEUU, particularmente en la solar y eólica.

Por otra parte, se observó una alta correlación significativa entre las innovaciones medidas a través de las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en energías renovables intermitentes (0.929, $P < 0.01$). Con este resultado se comprueba la hipótesis *Ha*: *En los diferentes países del mundo en 2018, a mayor número de patentes en energías renovables se tiene una mayor capacidad instalada de energías renovables intermitentes, con una probabilidad mayor a 99%*.

Adicionalmente se realizó un análisis de regresión tomando como variable

dependiente la capacidad en energías renovables intermitentes en MW (ERI), y la variable predictora las patentes acumuladas en energías renovables (PatER), se analizaron diferentes ajustes de curvas, resultando un modelo de regresión cúbico con el mayor coeficiente de determinación R^2 de 0.927, ($P < 0.01$), en el que se constata el gran efecto multiplicador de las patentes en la capacidad de energías renovables intermitentes.

Igualmente, estos dos resultados coinciden parcialmente con los encontrados por Lazkano *et al* (2017), en un estudio a nivel de empresa en el cual, se pone de relieve la relación positiva de la innovación y el registro de patentes con el desarrollo de las energías renovables, particularmente en el tema del almacenamiento de energía, orientada a mitigar el fenómeno de la intermitencia o variabilidad de las energías solar y eólica.

4. Conclusiones

A manera de conclusión, a continuación, se muestra el cumplimiento de los objetivos específicos (OE) para el conjunto de países en 2018:

OE1. En la Tabla 3 se presenta la correlación de Pearson de 0.882 ($P < 0.01$), entre las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en energías renovables de todo tipo en los diferentes países.

OE2. Igualmente, en la Tabla 3 se presenta la correlación de Pearson de 0.929 ($P < 0.01$), entre las patentes en energías renovables y la capacidad instalada en energías renovables intermitentes en los diferentes países, la cual corresponde a la prueba de la hipótesis.

Como conclusión general y contribución del presente estudio, se muestra que los países que han dedicado mayores esfuerzos a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación, concretados en patentes en

energías renovables, han sido capaces de resolver en mayor medida los problemas causados por la intermitencia de estas energías, particularmente solar y eólica, logrando avanzar en la capacidad instalada de estas energías amigables con el medio ambiente y de esta manera poder reemplazar a las energías basadas en combustibles fósiles, cuya estrategia se inscribe en el objetivo No 7 de los objetivos del desarrollo sustentable (ODS), de la agenda 20-30 de la ONU, que además de ser menos perjudiciales con el medio ambiente son de mayor facilidad de operación y mantenimiento (Quintanilla *et al*, 2017).

De los resultados de este estudio se pueden derivar las siguientes recomendaciones principalmente a los países en desarrollo.

- Fomentar la investigación, el desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i), de soluciones para gestionar y mitigar la intermitencia de las energías renovables solar y eólica.
- Desarrollar planes a largo plazo para lograr una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética, orientada hacia la descarbonización de la energía.
- Hacer un seguimiento cercano de las soluciones que aportan los países líderes en este campo, en relación a las tecnologías para mitigar el problema de la intermitencia de las renovables.
- Como estudios futuros se propone analizar el tema de la relación entre la cooperación tecnológica que puede haber entre los diferentes países y la transición energética hacia las energías limpias a nivel global, dado que el problema del efecto invernadero y el cambio climático se presentan igualmente a nivel global.

5. Referencias bibliográficas

- APPA, (2021). *Estudio del impacto macroeconómico de las energías renovables 2019*. Ed. APPA, Asociación de empresas de energías renovables de España. <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2021/02/APPA-Renovables-Estudio-Macro-Economico-2019.pdf>
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Revista Ecosistemas*, 11(2). doi.org/10.7818/ECOS.614
- Barton, J. P., & Infield, D. G. (2004). Energy storage and its use with intermittent renewable energy. *IEEE transactions on energy conversion*, 19(2), 441-448. doi:10.1109/TEC.2003.822305
- Batel, S. & Devine-Wright, P. (2015). Towards a better understanding of people's responses to renewable energy technologies: Insights from Social Representations Theory. *Public Understanding of Science*, 24(3), 311-325. doi.org/10.1177/0963662513514165
- Bond, K., Ghosh, A. & Vaughan, E., (2021). *Reach for the Sun*. Carbon Tracker Initiative, CEEW Council. <https://carbontracker.org/reports/reach-for-the-sun/>
- Budescu, D., Por, H., Broomell, S. & Smithson, M. (2014). La interpretación de las declaraciones probabilísticas del IPCC en todo el mundo. *Nature Climate Change*, 4(6), 508-512. doi.org/10.1038/nclimate2194
- Clarke, H., Dutt, N. & Kornberg, A. (1993). The political economy of attitudes toward polity and society in Western European democracies. *The Journal of Politics*, 55(04), 998-1021.
- European Commission, (2014). *Guidelines on Open Access to Scientific Publications and Research Data in Horizon 2020*. European Commission.
- Gil, G. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*. 140, 107-118.
- Guacaneme, J., Velasco, D. & Trujillo, C. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *Información tecnológica*, 25(2), 175-188. doi.org/10.4067/S0718-07642014000200020
- IEA (2020), *Recuperación sostenible*. IEA, OCDE, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>, OCDE.
- IRENA & CPI (2020). *Global Landscape of Renewable Energy Finance 2020*, International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance-2020>
- IRENA (2021). *Estadísticas de energías renovables 2020*. IRENA. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Innovation-and-Technology/Patents-Evolution>
- Johnstone, N. & Hascic, I. (2010). Directing technological change while reducing the risk of (not) picking winners: The case of renewable energy. *OECD Working Pap*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.364.3362&rep=rep1&type=pdf>
- Kosenius, A. & Ollikainen, M. (2013). Valuation of environmental and societal trade-offs of renewable energy sources. *Energy Policy*, 62, 1148-1156.

- doi: 10.1016 / j.enpol.2013.07.020
- Krugman, P. (2016). El ello que devoró el planeta. Laboratorio de ideas. Diario El País, No 20. <https://elpais.com/autor/paul-krugman/>
- Lazkano, I., Nøstbakken, L. & Pelli, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. *European Economic Review*, 99, 113-129. doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.03.013
- Martín, C. (2017). Generación, gestión y uso eficiente análisis de la capacidad de las energías renovables para cubrir la demanda eléctrica en España considerando su intermitencia. [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid], España.
- Mol, A. & Spaargaren, G. (2000). Ecological modernisation theory in debate: a review. *Environmental politics*, 9(1), 17-49.
- Mol, A. & Janicke, M. (2020). The origins and theoretical foundations of ecological modernisation theory. In *The ecological modernisation reader* (pp. 17-27). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003061069-4/origins-theoretical-foundations-ecological-modernisation-theory-arthur-mol-martin-j%C3%A4nicke>
- Noailly, J. & Shestalova, V. (2017). Knowledge spillovers from renewable energy technologies: Lessons from patent citations. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 22, 1-14. doi.org/10.1016/j.eist.2016.07.004
- OCDE/IEA (2009). *Renewables in Global Energy Supply an IEA fact sheet*. International Energy Agency, OCDE.
- Ollivier, J., Domínguez, I., Santini, V. & Armendariz, J. (2020). Public Policies in the Development of Renewable Energies in Spain in the XXI Century. *Journal of Business and Economics*, 11(4), 410-419. doi: 10.15341/jbe(2155-7950)/04.11.2020/003
- OMPI (2020). *World Intellectual Property Indicators 2020*. Organización Mundial de la propiedad Intelectual, WIPO, https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2020.pdf
- Oviedo, M. P. (2020). Buenas prácticas hacia el cumplimiento del ODS 7 “Energía Asequible y No Contaminante”. *Revista Científica de la UCSA*, 7(3), 72-75.
- Quintanilla, M., Parselis, M., Sandrone, D. & Lawler, D. (2017). *Tecnologías Entrañables. ¿Es posible un modelo alternativo de desarrollo tecnológico?*. OEI, Catarata.
- OEI (2013). *La investigación y el desarrollo en energías renovables en Iberoamérica*. OEI, Papeles del observatorio 07. <https://observatorioocts.oei.org.ar/2013/07/04/no-07-la-investigacion-y-el-desarrollo-en-energias-renovables-en-iberoamerica-situacion-actual-y-tendencias>.
- Rakhmonov, I. U. & Reymov, K. M. (2020). Statistical models of renewable energy intermittency. In *E3S Web of Conferences*, Vol. 216, p. 01167. EDP Sciences. doi.org/10.1051/e3sconf/202021601167
- Redclift, M. (1996). Compromisos sociales y el ambiente. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, (751), 119-127.
- Rey, A. & Álvarez-Campana J. (2007). *Evaluación ambiental y desarrollo sostenible*. Ediciones Pirámide.

- Silvast, A. (2017). Energy, economics, and performativity: Reviewing theoretical advances in social studies of markets and energy. *Energy Research & Social Science*, 34, 4-12.
doi.org/10.1016/j.erss.2017.05.005
- Sinsel, S., Riemke, R. & Hoffmann, V. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review. *Renewable Energy*, 145, 2271-2285,
doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.147
- Suberu, M., Mustafa, M. & Bashir, N. (2014). Energy Storage Systems for Renewable Energy Power Sector Integration and mitigation of Intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 499-514.
doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.009
- Thomas, H. (2011). Tecnologías sociales y ciudadanía socio-técnica. Notas para la construcción de la matriz material de un futuro viable. *Revist@ do Observatorio do Movimento pela Tecnologia Social da America Latina. Ciencia & Tecnologia Social*, 1 (1), 1-22.
- Trancik, J. E. (2014). Renewable energy: Back the renewables boom. *Nature News*, 507(7492), 300.
doi.org/10.1038/507300a
- UN (2003). *Agenda 21*. Department of Economic and Social Affairs. Division for Sustainable Development. UN 2003.
- Valencia, L., Moreno, F. & Rodríguez, J. (2015). Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 6(2), 231-242.
doi.org/10.22490/21456453.1419