



Modelos de difusión de tecnologías energéticas renovable

Models of diffusion of renewable energy technologies

Debrayan – Bravo Hidalgo¹

José Pedro – Monteagudo Yanes²

¹Research Management Learning (RML), Consultores. Ecuador.

²Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos. Cuba.

E-mail: jpmynes@ucf.edu.cu

Recibido: junio de 2018

Aprobado: octubre de 2018

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN/ABSTRACT

El trabajo aborda el uso de los modelos de difusión, herramienta útil para entender el desarrollo de tecnologías. La difusión de tecnologías no sigue un patrón único, es complejo y el desafío está en desarrollar modelos para las Tecnologías Energética Renovables (TER). Las TER tienen un enorme potencial para satisfacer la demanda mundial de energía eléctrica, pero el costo inicial y la falta de apoyo financiero es una barrera para su difusión. Son factores influyentes en la difusión, las características tecnológicas, micro-ambientales, el papel del gobierno, tipos de usuarios y la estructura del mercado. Se evidenció que la falta de éxito no implica lo inadecuado de la tecnología. El desconocimiento tecnológico de quienes formulan las políticas y la insuficiente capacidad de empresarios para justificar el apoyo del gobierno, resultan un freno al desarrollo y la difusión de las TER. Ello se acentúa en las naciones del tercer mundo.

Palabras clave: modelos de difusión; políticas de adopción; tecnologías de fuentes renovables de energía.

The paper deals with the use of diffusion models, a useful tool to understand the development of technologies. The diffusion of technologies does not follow a unique pattern, it is complex and the challenge is in developing models for Renewable Energy Technologies TER. TERs have enormous potential to meet global demand for electric power, but the initial cost and lack of financial support is a barrier to their diffusion. They are influential factors in the diffusion, the technological characteristics, micro-environmental, the role of the government, types of users and the structure of the market. It was evidenced that the lack of success does not imply the inadequacy of the technology. The technological ignorance of those who formulate the policies and the insufficient capacity of entrepreneurs to justify the support of the government, are a brake to the development and the diffusion of the TERs. This is accentuated in Third World nations.

Keywords: dissemination models; adoption policies; renewable energy technologies.

INTRODUCCIÓN

La energía es literalmente el combustible de los procesos económicos globales. Por esta razón, la política energética ha sido siempre una parte importante de la política económica e industrial. Otrora al Protocolo de Kyoto, la política energética tenía como objetivo principal la realización de un sistema energético asequible, confiable y seguro para facilitar al máximo los procesos industriales. Luego de la firma del protocolo de Kyoto por 37 países distribuidos en todos los continentes, la problemática del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero se convirtieron en pilares importantes en las políticas energéticas.

Sin embargo, aunque se han invertido muchos años de esfuerzos colectivos y dinero gubernamental para acelerar el desarrollo, difusión e implementación de Tecnologías de Energía Renovable TER, las experiencias en diferentes países muestran que este es un proceso parsimonioso [1-4]. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, la generación energética a partir de fuentes renovables en el suministro total de energía aumentó de 8,3% en 2009 a 9,2% en 2016. Para el Reino Unido, esta proporción aumentó en el mismo período del 3,3% al 4,1% y para los Estados Unidos de América (EE.UU) aproximadamente en el mismo periodo en un poco más del 8%. La Unión Europea (UE) ha tenido un desempeño relativamente favorable al aumentar la cuota del 9,1% al 12,5% en el período 2002-2016 [5, 6].

Sin embargo, estas cifras indican que la proporción real de las TER sigue siendo baja, especialmente si se compara con las ambiciones de los actores políticos. El Reino Unido ha fijado a un 15% la porción de energía total generada con fuentes renovable de energía para el año 2020 y la apuesta de la UE en materia de tecnologías energéticas renovables es de un 20% para 2020. A más largo plazo, las ambiciones son aún mayores. El Reino Unido tiene como objetivo reducir las emisiones de carbono en un 80% en 2050 y durante la cumbre de Copenhague Europa ofreció reducir las emisiones en un 95% en 2050. Ambos objetivos implican un gran aumento en la difusión de las tecnologías energéticamente renovables.

La difusión de una innovación es un proceso que se comunica a través de ciertos canales a lo largo del tiempo entre los miembros de un sistema social. Las tasas de difusión son específicas del contexto, dependiendo de factores socioeconómicos, tecnológicos e institucionales [7, 8]. Estos factores que facilitan o dificultan la difusión y conducen el proceso están interrelacionados haciendo de este un fenómeno complejo [9-11]. Las TER, por ejemplo, se deben principalmente a consideraciones ambientales y de seguridad energética inminente, derivada del uso de energía basada en combustibles fósiles y el hecho de que las fuentes de energía fósiles no son infinitas.

A diferencia de otros productos o tecnologías comerciales, las TER reciben incentivos financieros y fiscales del gobierno o agencias públicas, para su promoción o adopción [12, 13]. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos políticos directos y de las ventajas ambientales y socioeconómicas inherentes a las TER, su tasa de difusión ha sido baja. Por lo tanto, refuerza los retos de llevar una nueva tecnología al mercado. El objetivo de este trabajo es revisar diferentes modelos basados en la teoría de la difusión y su aplicabilidad al análisis de difusión de las TER.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el proceso de concepción de esta contribución se empleó el directorio Scopus, y varias de las herramientas de análisis de información que este provee a sus suscriptores. Scopus es una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas de alto impacto académico [14]. Está editada por Elsevier y se puede acceder desde la Web por sus suscriptores. Para determinar el índice H de los artículos referenciados en este trabajo se utilizó el "PublishorPerish" este software permitió precisar el valor de este indicador bibliométrico para cada contribución [15].

RESULTADOS

De la década de los ochentas a la actualidad se registran en el directorio Scopus 64 contribuciones bajo el siguiente criterio de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (dissemination AND of AND technologies AND of AND renewable AND energy AND sources). De este modo se construyeron las figuras 1 y 2.

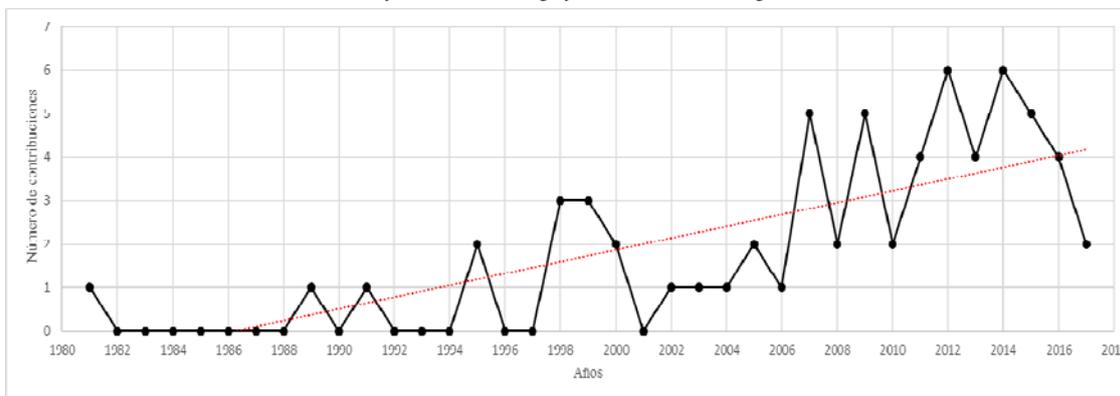


Fig. 1. Número de contribuciones relacionadas con la temática tratada por cada año.

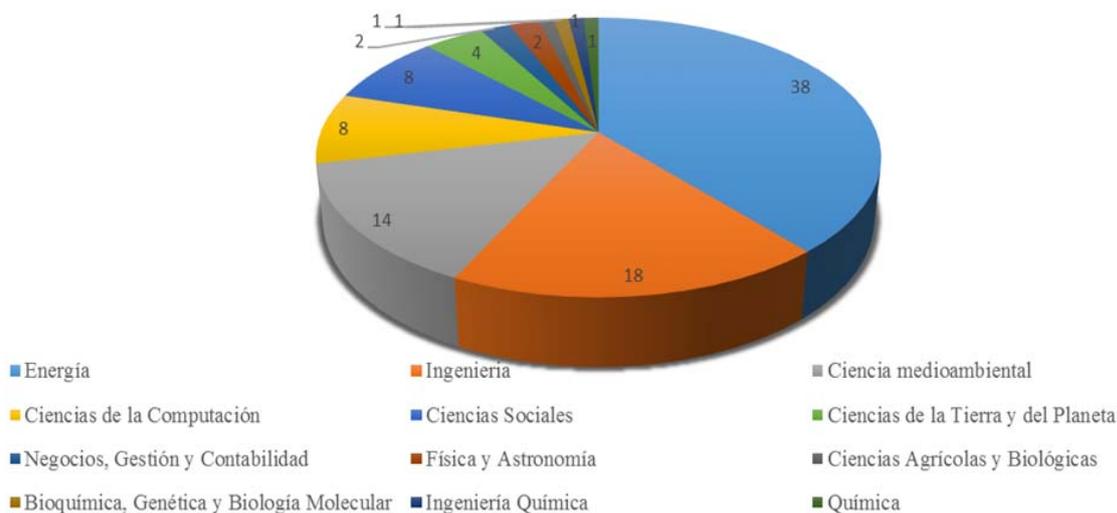


Fig. 2. Contribuciones por área investigativa.

La figura 1, muestra que existe una tendencia al incremento en las investigaciones relacionadas con la difusión de las TER. Esta tendencia es más marcada a partir del primer quinquenio del presente siglo. En la figura 2, se ilustra la distribución de las publicaciones científicas relacionadas con la temática tratada, por diferentes áreas o líneas de investigación. Las contribuciones más socializadas se enfocan en líneas como la energía, la ingeniería y el medioambiente. Los valores numéricos expresados en este gráfico representan las cantidades de artículos contenidos dentro del directorio Scopus, detectados bajo el criterio de búsqueda reflejado en la sección de materiales y métodos.

Las TER convierten los recursos naturales como la energía solar, la biomasa, el potencial eólico e hidráulico en formas de energía útiles como la electricidad, energía térmica u otros tipos [16-18]. Su adopción ha sido impulsada principalmente por consideraciones ambientales y de seguridad energética inminentes derivadas del uso de portadores energéticos basada en combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural; y el hecho de que las fuentes de energía de esta naturaleza son finitas [19-21]. A diferencia de otros productos o tecnologías comerciales, se han promovido las TER con apoyo inicial de proyectos de demostración, seguidos de incentivos financieros y fiscales significativos del gobierno o agencias públicas. A pesar de los esfuerzos políticos dado las ventajas ambientales y socioeconómicas de las TER, la difusión de estas formas alternativas de energía ha sido muy limitada. Las contribuciones de K. U. Rao (2010), E. A. Klevakina (2016) y U. Lucia (2017) destacan los desafíos de llevar una nueva tecnología al mercado, en lugares específicos como, por ejemplo, tecnologías de energía eólica en España o Alemania, pequeñas hidroeléctricas en China e India [22-24].

Las TER se caracterizan por un bajo factor de carga como la eólica y la hidráulica a baja escala, necesidad de almacenamiento de energía como la fotovoltaica, y la termo solar [25-27]. Estas prácticas energéticas acarrear altos costos iniciales y novedosas prácticas. Estos factores han puesto a las TER en desventaja, y por lo tanto la necesidad de apoyo especial para la mayor difusión de estas prácticas. Los estudiosos de la difusión de las TER se han centrado principalmente en marcos analíticos basados en políticas [28, 29]. El proceso de comercialización de las TER ocurre en etapas. Los trabajos de P. Lund (2006), A. Ghermandi (2017) y L. Walter (2017) describe el proceso comenzando con Investigación y Desarrollo, seguido de demostración y producción piloto [30-32]. Esto conduce a la introducción en el mercado y, finalmente, a la difusión de esta práctica energética. Aunque las TER se encuentran en diferentes fases de desarrollo en el mercado, la investigación en análisis de difusión en el sector de las energías renovables apunta hacia los siguientes enfoques.

Análisis económico de las TER por su viabilidad

La publicación de J. F. Burnham (2006) estudia la difusión de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica en España utilizando modelos económicos evolutivos. Sostienen que los factores económicos e institucionales juegan un papel crucial y clave en fomentar o inhibir la difusión [14]. En primer lugar, se elabora un marco teórico que se construye desde una perspectiva económica evolutiva y que tiene en cuenta factores de mercado, tecnológicos e institucionales que influyen en la difusión. El marco se aplica entonces a la alternativa eólica y fotovoltaica, dentro del contexto del sector energético español, para explorar los factores causales de las tasas de difusión diferencial de estas dos tecnologías. El estudio revela que, a pesar de tener un gran potencial para la energía solar, la contribución de la energía solar fotovoltaica es menor que la energía eólica. En la contribución de G. O. Collantes (2007) propuso un modelo de sustitución tecnológica para estudiar la tasa de crecimiento de la cuota de mercado de los vehículos de celda de combustible [33]. A. Ioannou (2008) investigo la penetración de las TER usando el modelo MARKAL de abajo hacia arriba - un modelo de sistemas de energía, ideal para el análisis técnico-económico[34]. F. Ardente (2008) presentó actuaciones energéticas y evaluación del ciclo de vida del modelo de sustitución de tecnologías para estudiar la tasa de crecimiento de la cuota de mercado de los vehículos de celda de combustible[35].

Análisis de barreras y enfoques de mitigación de estas

S. Jacobsson and A. Johnson (2000), H. Atalay (2017), A. Bergek y I. Mignon (2017) y M. Cristina (2017) aplicaron un marco analítico basado en varios aspectos; la responsabilidad ambiental, el crear una base de conocimiento y los cambios institucionales. Estos serían los actores clave en la creación de nuevos sistemas tecnológicos que podrían influir en el proceso de difusión de las tecnologías energéticas renovables [36-39]. R. Peter, B. Ramaseshan, and C. V. Nayar (2001) y C. Cheng (2017) aplicaron un modelo para identificar los factores de difusión de la tecnología fotovoltaica, que incluían incentivos financieros, iniciativas dirigidas por el gobierno, reducción de costos de inversión y aumento en la confiabilidad, difusión de información y conciencia ambiental [40, 41].

Análisis de políticas e influencias sobre la adopción de las TER

Varios artículos discuten la influencia de políticas y marcos institucionales sobre la difusión de las TER. V. Dinica (2006) propuso una perspectiva orientada a los inversores para analizar el potencial de difusión de los sistemas de apoyo a las TER, en particular, políticas como el *feed in tariffs* y el modelo de cuotas. Aunque las TER tienen un enorme potencial para satisfacer la demanda mundial de energía eléctrica, el costo inicial en que se incurre en la instalación de dicha tecnología y la dificultad para obtener apoyo financiero es una barrera importante para la difusión de la tecnología[42].

La investigaciones de Z. Yu and D (2017) y C. Gupta (2001) analizan las políticas de las TER y señalan las barreras para la adopción a gran escala de las TER en la India [43, 44]. R. Bhatia (1990), K. Y. Kebede and T. Mitsufuji(2017) y A. Tigabu (2017) señaló que los programas de incentivos y subsidios para motores de biogás en la India y otras naciones estaban diseñados arbitrariamente y no eran rentables para los adoptantes. Esto se basó en un marco conceptual analítico que categorizó varios factores que influyen en el proceso de difusión y adopción como características tecnológicas, microambiente, papel del gobierno, tipos de usuarios y estructura del mercado. Se argumentó además que la falta de éxito a gran escala no implica la inadecuación de la tecnología; Más bien se requerirían esfuerzos para crear un entorno que promueva la adopción de estas tecnologías. Como el proceso de adopción comienza con la interacción del usuario, la sociedad y el gobierno de una manera compleja, es necesario comprender las interacciones de las áreas donde se ha adoptado con éxito y crear ambientes similares en las áreas donde la tasa de adopción es menor[45-47].

Otras investigaciones apuntan a la baja difusión del biogás y horno solar, y destaca la necesidad de intervención gubernamental en términos de políticas favorables e incentivos para promover su uso en los hogares[48-50]. Las publicaciones de T. D. Tsoutsos y Y. A. Stamboulis (2005), H. Lund (2006) y I. Rajiani (2016) señalan las presiones medioambientales y los mecanismos del protocolo de Kyoto que impulsan la adopción y las innovaciones en TER [51-53]. T. D. Tsoutsos y Y. A. Stamboulis (2005) reconocieron que la interacción de los elementos tecnológicos, sociales y organizativos requieren una política que realce la oferta. También indican barreras en la difusión sostenible de las TER e identifican el principal problema que se encuentra en la asunción implícita de los responsables políticos de que la difusión es simplemente una cuestión de sustitución[51]. Por su parte P. Purohit and A. Michaelowa (2008) presentaron un análisis de difusión de las motobombas accionadas con energía solar fotovoltaica[4]. Los autores destacaron que, aunque el subsidio gubernamental está disponible para el agricultor, todavía otras opciones como las bombas eléctricas y bombas diésel son más atractivas. J. K. Herrmann and I. Savin (2017), S. Hyysalo (2017) y E. Verdolini and V. Bosetti (2017) argumentaron que la estrategia y la política tienden a centrarse en el rendimiento de las TER individuales.

Las medidas basadas en proyectos no toman en consideración dos elementos dinámicos. Primeramente, la necesidad de elección tecnológica y regulación para explotar el papel y la experiencia de los usuarios; Y segundo, el impacto económico múltiple de la difusión masiva de las TER, fundamentalmente en los sectores de construcción y servicios de la economía. Basándose en su análisis, sugirieron que una política exitosa orientada a las TER debería ser la conceptualización de las TER como un sistema tecnológico radicalmente diferente al de las fuentes convencionales[51, 54-56].

J. Meadowcroft (2017), M. Sakah (2017) y P. Purohit and T. C. Kandpal (2005) intentaron proyectar los niveles de difusión, entrega de energía e inversiones requeridas para TER en el bombeo de agua usando modelos de difusión disponibles[49, 50, 57]. Las contribuciones de K. UshaRao y V. V. N. Kishore (2017), H. E. Edsand(2017), J. Gosens (2017) y M. Negrete-Pincetic (2017) pretendieron aplicar la teoría de la difusión de la innovación y las nuevas tecnologías para analizar el crecimiento de la tecnología de energía eólica[58-61].

La tabla 1, muestra un compendio de las investigaciones más populares, que adoptaron el modelo de difusión como una herramienta para analizar la propagación de las TER. Las aplicaciones de modelos de difusión existentes en el contexto del análisis TER consideran dos aspectos. En primer lugar, el potencial de las TER se basa en los recursos naturales disponibles y, por tanto, tiene restricciones de oferta. En segundo lugar, los valores de los parámetros de difusión estimados a través de los modelos podrían ser una base para la comparación efectiva de los procesos de difusión.

En dicha tabla se refleja el índice de Hirsch (Índice H) de las contribuciones científicas que representada cada uno de los modelos considerados. El índice H es un sistema propuesto por Jorge Hirsch, profesor e investigador de la Universidad de California en San Diego, E.E.U.U, en el año 2005, para la medición de la calidad y aceptación de las contribuciones y sus autores, en función de la cantidad de citas que estos reciben. Este índice se calcula con base en la distribución de las citas que han recibido los trabajos científicos de un investigador. Si dicho índice vale n , entonces n publicaciones han sido citadas más de n veces. Para hallarlo, basta ordenar los artículos de un autor o grupo por número de veces que han sido citados de mayor a menor, e ir recorriendo la lista hasta encontrar la última publicación cuyo número correlativo sea menor o igual que el número de citas: ese número correlativo es el índice H.

Hoy en día existen programas computacionales tanto de plataforma de escritorios como sobre la web, que permiten determinar la cuantía de este índice tanto de contribuciones como de autores. El peso del valor de índice H varía mucho en función de las especialidades o materias que aborda la contribución científica. En el área de las ciencias técnicas una publicación que cuente con un índice H, por ejemplo, de 30, se le puede considerar un trabajo de relevancia en este campo.

Tabla 1. Modelos empleados en la difusión de tecnologías en el uso de fuentes renovables de energía.

Modelo	Tipo Tecnologías de uso de Fuentes Renovables de Energía.	Referencia	Índice Hirsch
Modelo de sustitución tecnológica. Enfoque logístico $\left(\frac{n_t}{N-n_t}\right) = \alpha + \beta(t - t_0)$	Estudiar la tasa de crecimiento de la cuota de mercado de los vehículos de celda de combustible.	[48]	63
Enfoque de aprendizaje	Sistemas solares fotovoltaicos en el sur de Europa	[62]	63
Utilización de curvas de experiencia $C_{CUM} = C_0 \cdot CUM^b$	Analizar las perspectivas de difusión y adopción de tecnologías de energías renovables.	[63]	323
Aprender haciendo (curva de experiencia)	Requisitos previos de recursos para los esquemas de explotación a gran escala de las nuevas tecnologías de energía renovables.	[64]	27
Modelo de difusión epidémica (Modelo de influencia interna)	Tasas de penetración en el mercado de las nuevas tecnologías energéticas.	[30]	81
Curva de aprendizaje (función de coste Cobb Douglas) $C_{j,t} = k_{j,t}^{1/r_j} \prod_{i=1}^n P_{i,t}^{\alpha_i/r_j} K_{j,t} = \eta_j [A_{j,t} \prod_{i=1}^n \alpha_i^{\alpha_i}] - \frac{1}{r_j} Y_{j,t} t$ Siendo el nivel de producción de la tecnología j en el tiempo t, Pi, t el precio de la entrada i y r los rendimientos de la escala. La homogeneidad de 1 grado de la función de coste de Cob Douglas en los precios de los insumos está garantizada por la condición: $\eta_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i$	La estimación econométrica de la curva de aprendizaje se ha realizado en PV solar y viento.	[65]	178
Modelo Rogers	Comercialización de tecnología solar fotovoltaica en países en desarrollo.	[40]	40
Una formulación de una curva de aprendizaje tomada de Berndt (1991)	Compara la utilización de la energía eólica en tres países Dinamarca, Alemania y el Reino Unido.	[66]	195
Modelo Bass	Difusión futura del bombeo de agua de riego basado en RET en la India.	[57]	61
El modelo Bass / modelo de influencia mixta	Difusión de viento en diferentes estados de la India mediante su vinculación a un índice de políticas.	[58]	59

Limitaciones de la investigación

La investigación se limita a contribuciones dentro del directorio Scopus y solo en idioma inglés. Para la búsqueda se estableció la frase "Dissemination of technologies renewable energy sources" en el título, en las palabras claves y el resumen de las publicaciones. Las contribuciones o trabajos publicados antes del año 2000 solo se considerarán por contar con un índice Hirsch mayor de 40.

Discusión de Resultados

La revisión de la literatura muestra que la falta de gestión política que estimule las TER, y una mala alineación de las instituciones con las prácticas en otros sectores, son problemas sistémicos claves. Estas son las barreras más recurrentes.

Debido al insuficiente conocimiento tecnológico de los responsables de la formulación de políticas, y a la falta de capacidad de los empresarios para agruparse y formular un mensaje uniforme sobre el tipo de apoyo que necesitan del gobierno, se producen deficiencias que bloquea el desarrollo y la difusión de las TER. Dicha situación es más acentuada en las naciones del tercer mundo.

Para evitar fallas corporativas y gubernamentales en este sentido, es necesario centrarse en sistemas tecnológicos específicos que requieran medidas políticas específicas. Las diferencias en las necesidades políticas están determinadas por la fase en que se encuentra el sistema de innovación, los problemas específicos relacionados con la tecnología, la adquisición de recursos financieros, la distancia al mercado y el escenario internacional. La consecuencia es que los responsables de la formulación de políticas de innovación necesitan desarrollar las capacidades apropiadas para evaluar las circunstancias específicas de un sistema de innovación individual y los problemas específicos que están relacionados con campos tecnológicos específicos.

Finalmente, para evitar fracasos en la estructura de mercado, es necesario presionar al sistema en trámite ya que las nuevas tecnologías deben cumplir con los criterios que se usan para medir el desempeño de las tecnologías establecidas. Esto aumenta las posibilidades de éxito de los sistemas de innovación emergentes, ya que los productos de estos sistemas de innovación tienen mejores oportunidades dentro del sistema antiguo. En este caso, los instrumentos genéricos de política favorecidos por los formuladores de políticas neoclásicos capacitados podrían ser útiles. Sin embargo, la voluntad es necesaria para aplicar los instrumentos de esa manera.

CONCLUSIONES

El modelado de difusión es una herramienta útil para entender el crecimiento de productos o tecnologías. Aunque la difusión de tecnologías o productos no sigue un patrón único uniforme y es un fenómeno complejo, se han utilizado modelos para explicar las tasas de difusión. El desafío está en desarrollar experiencia en la aplicación de modelos de difusión para analizar la difusión de TER.

La demanda de TER está siendo creada por el gobierno a través de un conjunto de políticas de incentivos y regulaciones. Las solicitudes de TER se originaron principalmente en el mercado con subsidios del gobierno y continúan atrayendo varios incentivos por periodos variados de 5 a 15 años o más. Dado que las TER tienen muchas barreras de mercado, la investigación hasta ahora ha tratado principalmente el tema de los retos y el análisis de las barreras que limitan la difusión de estas prácticas. Existe la necesidad de un estudio sistemático de la difusión TER utilizando la teoría y los modelos de difusión. Si bien los enfoques de las curvas de aprendizaje han sido eficaces para las consideraciones económicas, es importante correlacionar los datos de series de tiempo con los cambios de políticas y también varios factores, particularmente, sociales y tecnológicos que influyen en los procesos de difusión.

Los modelos de difusión existentes pueden ser un conjunto útil de herramientas para estudiar las perspectivas de los mecanismos de difusión y evaluar la eficacia de las estrategias de difusión de las tecnologías de energía renovable.

REFERENCIAS

- [1] A. Foley and A. G. Olabi, "Renewable energy technology developments, trends and policy implications that can underpin the drive for global climate change," ed: Elsevier, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116311200>
- [2] M. Ragwitz and A. Miola, "Evidence from RD&D spending for renewable energy sources in the EU," *Renewable Energy*, Article vol. 30, no. 11, pp. 1635-1647, 2005.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148104004616>
- [3] J. Iqbal and Z. H. Khan, "The potential role of renewable energy sources in robot's power system: A case study of Pakistan," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 75, pp. 106-122, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307067>

- [4] P. Purohit and A. Michaelowa, "CDM potential of SPV pumps in India," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 12, no. 1, pp. 181-199, 2008.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106000736>
- [5] I. Diaz-Rainey and D. Tzavara, "Financing the decarbonized energy system through green electricity tariffs: A diffusion model of an induced consumer environmental market," (in English), *Technological Forecasting and Social Change*, Article vol. 79, no. 9, pp. 1693-1704, 2012.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162512001424>
- [6] S. M. Choi, S. F. Wong, Y. Chang, and M. C. Park, "Analysis of the dynamic broadband technology competition Implications for national information infrastructure development," *Industrial Management and Data Systems*, Article vol. 116, no. 6, pp. 1223-1241, 2016.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://scinapse.io/papers/2472998822>
- [7] K. S. Wiebe, "The impact of renewable energy diffusion on European consumption-based emissions†," (in English), *Economic Systems Research*, Article vol. 28, no. 2, pp. 133-150, 2016.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09535314.2015.1113936?journalCode=cesr20>
- [8] L. Strupeit and A. Palm, "Overcoming barriers to renewable energy diffusion: Business models for customer-sited solar photovoltaics in Japan, Germany and the United States," (in English), *Journal of Cleaner Production*, Article vol. 123, pp. 124-136, 2016.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615008537>
- [9] D. B. Chung and B. Kim, "The relationship between open innovation and innovation performance: Focused on the firms in South Korea," in *PICMET 2016 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management For Social Innovation, Proceedings*, 2017, pp. 492-500.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: http://www.picmet.org/db/member/proceedings/2016/data/polopoly_fs/1.3251621.1472158092!/fileserver/file/680883/filename/16A0019.pdf
- [10] B. Li, X. Qi, and G. Xu, "Relationships between open innovation, knowledge creation, and enterprise innovation performance," (in Chinese), *Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal of Harbin Engineering University*, Article vol. 37, no. 12, pp. 1748-1755, 2016.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <http://heuxb.hrbeu.edu.cn/en/oa/darticle.aspx?type=view&id=201512023>
- [11] D. Zhang, S. Li, and D. Zheng, "Knowledge search and open innovation performance in an emerging market: Moderating effects of government-enterprise relationship and market focus," (in English), *Management Decision*, Article vol. 55, no. 4, pp. 634-647, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/MD-04-2016-0211>
- [12] H. Ohtake, "State-of-the-art technology and development of numerical prediction models and its applications for renewable energy fields," (in Japanese), *IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems*, Article vol. 137, no. 7, pp. 904-909, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejieiss/137/7/137_904/_article/-char/en
- [13] Y. S. Mohammed, M. W. Mustafa, N. Bashir, and I. S. Ibrahim, "Existing and recommended renewable and sustainable energy development in Nigeria based on autonomous energy and microgrid technologies," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 75, pp. 820-838, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116308292>
- [14] J. F. Burnham, "Scopus database: A review," (in English), *Biomedical Digital Libraries*, Review vol. 3, 2006, Art. no. 1.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://bio-diglib.biomedcentral.com/articles/10.1186/1742-5581-3-1b>
- [15] A.-W. Harzing, *The publish or perish book*. Tarma Software Research, 2011.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <http://harzing.com/download/popbook12.pdf>
- [16] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari, and N. A. Al-Emadi, "Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources," (in English), *Renewable Energy*, Review vol. 113, pp. 266-280, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304822>
- [17] A. Banswar, N. K. Sharma, Y. R. Sood, and R. Shrivastava, "Real time procurement of energy and operating reserve from Renewable Energy Sources in deregulated environment considering imbalance penalties," (in English), *Renewable*

Energy, Article vol. 113, pp. 855-866, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117305645>

[18] M. J. Kasaei, M. Gandomkar, and J. Nikoukar, "Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant," (in English), *Renewable Energy*, Article vol. 114, pp. 1180-1188, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117307644>

[19] U. Garbi and M. Pannu, "New standard for electrical grid reliability and energy efficiency. Commercially available fault current limiters enable cost-effective connection of generation and distributed renewable energy sources to transmission, distribution and industrial networks," 2015, pp. 226-228: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7368371/>

[20] Nukman and R. Sipahutar, "The potential of biomass from wood, leaves, and grass as renewable energy sources in South Sumatera, Indonesia," (in English), *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, Article vol. 37, no. 24, pp. 2710-2715, 2015.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286636950_The_Potential_of_Biomass_from_Wood_Leaves_and_Grass_as_Renewable_Energy_Sources_in_South_Sumatera_Indonesia

[21] A. Šare, G. Krajačić, T. Pukšec, and N. Duić, "The integration of renewable energy sources and electric vehicles into the power system of the Dubrovnik region," (in English), *Energy, Sustainability and Society*, Article vol. 5, no. 1, 2015, Art. no. 27.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-015-0055-7>

[22] K. U. Rao and V. V. N. Kishore, "A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 14, no. 3, pp. 1070-1078, 2010.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403210900269X>

[23] E. A. Klevakina, I. A. Zabelina, and M. Sh Murtazina, "Evaluation of development prospects of renewable energy: Agent based modelling," (in English), *International Conference on Information Technologies in Business and Industry 2016*, Conference Paper vol. 803, no. 1, 2017, Art. no. 012071.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012071>

[24] U. Lucia, M. Simonetti, G. Chiesa, and G. Grisolia, "Ground-source pump system for heating and cooling: Review and thermodynamic approach," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 70, pp. 867-874, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310504>

[25] F. Z. Siddiqui, S. Zaidi, S. Pandey, and M. E. Khan, "Review of past research and proposed action plan for landfill gas-to-energy applications in India," (in English), *Waste Management and Research*, Review vol. 31, no. 1, pp. 3-22, 2013.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23255613>

[26] I. Youm, J. Sarr, M. Sall, and M. M. Kane, "Renewable energy activities in Senegal: A review," (in English), *Renewable & sustainable energy reviews*, Article vol. 4, no. 1, pp. 75-89, 2000.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403219900009X>

[27] J. P. Ram, H. Manghani, D. S. Pillai, T. S. Babu, M. Miyatake, and N. Rajasekar, "Analysis on solar PV emulators: A review," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 81, pp. 149-160, 2018.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311085>

[28] G. Purevdorj and K. Enkjargal, "Ecological, economic and social aspects from the renewable energy and energy conservation," 2007, pp. 20-23.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4798509/>

[29] G. Busch, "A spatial explicit scenario method to support participative regional land-use decisions regarding economic and ecological options of short rotation coppice (SRC) for renewable energy production on arable land: case study application for the Göttingen district, Germany," (in English), *Energy, Sustainability and Society*, Article vol. 7, no. 1, 2017, Art. no. 2.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13705-017-0105-4>

[30] P. Lund, "Market penetration rates of new energy technologies," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 34, no. 17, pp. 3317-3326, 2006.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505001862>

[31] A. Ghermandi *et al.*, "Solar-powered desalination of brackish water with nanofiltration membranes for intensive agricultural use in Jordan, the Palestinian Authority and Israel," (in English), *Desalination and Water Treatment*, Article vol.

76, pp. 332-338, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317339668_Desalination_and_Water_Treatment_Solar-powered_desalination_of_brackish_water_with_nanofiltration_membranes_for_intensive_agricultural_use_in_Jordan_the_Palestinian_Authority_and_Israel

[32] L. Walter *et al.*, "Impact of GHG-Phase II and Ultra Low NOx on the Base Powertrain," (in English), *SAE 9th AVL International Commercial Powertrain Conference, AVL-ICPC 2017*, Conference Paper vol. 2017-May, no. May, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2017-01-1925/>

[33] G. O. Collantes, "Incorporating stakeholders' perspectives into models of new technology diffusion: The case of fuel-cell vehicles," (in English), *Technological Forecasting and Social Change*, Article vol. 74, no. 3, pp. 267-280, 2007.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162506000370>

[34] A. Ioannou, A. Angus, and F. Brennan, "Risk-based methods for sustainable energy system planning: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 602-615, 2017/07/01/ 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211730312X>

[35] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano, "Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 12, no. 1, pp. 200-217, 2008.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403210600075X>

[36] S. Jacobsson and A. Johnson, "The diffusion of renewable energy technology: An analytical framework and key issues for research," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 28, no. 9, pp. 625-640, 2000.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421500000410>

[37] H. Atalay, M. Turhan Çoban, and O. Kincay, "Modeling of the drying process of apple slices: Application with a solar dryer and the thermal energy storage system," (in English), *Energy*, Article vol. 134, pp. 382-391, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217310241>

[38] A. Bergek and I. Mignon, "Motives to adopt renewable electricity technologies: Evidence from Sweden," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 106, pp. 547-559, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517302409>

[39] M. Cristina Santos de Mello, H. Gomes D'Amato Villardi, A. Ferreira Young, F. Luiz Pellegrini Pessoa, and A. Medeiros Salgado, "Life cycle assessment of biodiesel produced by the methylic-alkaline and ethylic-enzymatic routes," (in English), *Fuel*, Article vol. 208, pp. 329-336, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117308694>

[40] R. Peter, B. Ramaseshan, and C. V. Nayar, "Conceptual model for marketing solar based technology to developing countries," (in English), *Renewable Energy*, Article vol. 25, no. 4, p. 511-524, 2002.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148101000805>

[41] C. Cheng, Z. Wang, M. Liu, Q. Chen, A. P. Gbatu, and X. Ren, "Defer option valuation and optimal investment timing of solar photovoltaic projects under different electricity market systems and support schemes," (in English), *Energy*, Article vol. 127, pp. 594-610, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217305546>

[42] V. Dinica, "Support systems for the diffusion of renewable energy technologies - An investor perspective," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 34, no. 4, p. 461-480, 2006.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421504001880>

[43] C. Gupta, "Renewable Energy and Environment—A Policy Analysis for India. 1st edn," ed: JSTOR, 2001.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/i24102283>

[44] Z. Yu and D. Gibbs, "Sustainability transitions and leapfrogging in latecomer cities: the development of solar thermal energy in Dezhou, China," (in English), *Regional Studies*, Article in Press pp. 1-12, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00343404.2016.1260706?journalCode=cres20>

[45] R. Bhatia, "Diffusion of renewable energy technologies in developing countries: A case study of biogas engines in India," (in English), *World Development*, Article vol. 18, no. 4, pp. 575-590, 1990.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0305750X90900737>

- [46] K. Y. Kebede and T. Mitsufuji, "Technological innovation system building for diffusion of renewable energy technology: A case of solar PV systems in Ethiopia," (in English), *Technological Forecasting and Social Change*, Article vol. 114, pp. 242-253, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516302232>
- [47] A. Tigabu, F. Berkhout, and P. van Beukering, "Development aid and the diffusion of technology: Improved cookstoves in Kenya and Rwanda," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 102, pp. 593-601, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516307030>
- [48] C. Ketlogetswe, J. K. Fiszdon, and O. O. Seabe, "Erratum: Solar chimney power generation project - The case for Botswana (Renewable and Sustainable Energy Reviews (2008) 12 (2005-2012))," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Erratum vol. 16, no. 8, p. 6488, 2012.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: [citeaserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.416.5748&rep=rep1&type=pdf](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310493)
- [49] J. Meadowcroft, J. C. Stephens, E. J. Wilson, and I. H. Rowlands, "Social dimensions of smart grid: Regional analysis in Canada and the United States. Introduction to special issue of Renewable and Sustainable Energy Reviews," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Article in Press 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310493>
- [50] M. Sakah, F. A. Diawuo, R. Katzenbach, and S. Gyamfi, "Towards a sustainable electrification in Ghana: A review of renewable energy deployment policies," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 79, pp. 544-557, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307177>
- [51] T. D. Tsoutsos and Y. A. Stamboulis, "The sustainable diffusion of renewable energy technologies as an example of an innovation-focused policy," (in English), *Technovation*, Review vol. 25, no. 7, pp. 753-761, 2005.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497203002207>
- [52] H. Lund, "The Kyoto mechanisms and technological innovation," (in English), *Energy*, Article vol. 31, no. 13, pp. 1989-1996, 2006. [Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054420600017X>
- [53] I. Rajiani, E. Buyong, and D. S. Ahmad, "Conceptualizing values as point of departures in penetrating market adopters of green high-tech product," in *27th International Business Information Management Association Conference - Innovation Management and Education Excellence Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth, IBIMA 2016*, 2016, pp. 343-354: International Business Information Management Association, IBIMA.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://ibima.org/accepted-paper/malaysia-in-general-is-seen-as-one-of-the-active-countries-in-engaging-with-the-global-corporate-social-responsibility-hereafter-csr-initiatives-and-practices-a-number-of-financial-and-non-finan/>
- [54] J. K. Herrmann and I. Savin, "Optimal policy identification: Insights from the German electricity market," (in English), *Technological Forecasting and Social Change*, Article vol. 122, pp. 71-90, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516308290>
- [55] S. Hyysalo, M. Johnson, and J. K. Juntunen, "The diffusion of consumer innovation in sustainable energy technologies," (in English), *Journal of Cleaner Production*, Article vol. 162, pp. S70-S82, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616313865>
- [56] E. Verdolini and V. Bosetti, "Environmental Policy and the International Diffusion of Cleaner Energy Technologies," (in English), *Environmental and Resource Economics*, Article vol. 66, no. 3, pp. 497-536, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-016-0090-7>
- [57] P. Purohit and T. C. Kandpal, "Renewable energy technologies for irrigation water pumping in India: Projected levels of dissemination, energy delivery and investment requirements using available diffusion models," (in English), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Article vol. 9, no. 6, pp. 592-607, 2005.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032104000929>
- [58] K. Usha Rao and V. V. N. Kishore, "Wind power technology diffusion analysis in selected states of India," (in English), *Renewable Energy*, Article vol. 34, no. 4, pp. 983-988, 2009.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148108003145>

- [59] H. E. Edsand, "Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context," (in English), *Technology in Society*, Article vol. 49, pp. 1-15, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X16301324>
- [60] J. Gosens, F. Hedenus, and B. A. Sandén, "Faster market growth of wind and PV in late adopters due to global experience build-up," (in English), *Energy*, Article vol. 131, pp. 267-278, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217308034>
- [61] M. Negrete-Pincetic, G. Wang, M. Arancibia, A. Kowli, E. Shafieepoofard, and S. Meyn, "The value of volatile resources in electricity markets," (in English), *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Article vol. 11, pp. 46-57, 2017.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352467716301357>
- [62] A. Masini and P. Frankl, "Forecasting the diffusion of photovoltaic systems in southern Europe: A learning curve approach," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 70, no. 1, pp. 39-65, 2003.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162501001834>
- [63] L. Neij, "Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 25, no. 13, pp. 1099-107, 1997.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421597001353>
- [64] P. D. Lund, "Upfront resource requirements for large-scale exploitation schemes of new renewable technologies," (in English), *Renewable Energy*, Article vol. 32, no. 3, pp. 442-458, 2007.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148106000498>
- [65] S. Isoard and A. Soria, "Technical change dynamics: Evidence from the emerging renewable energy technologies," (in English), *Energy Economics*, Article vol. 23, no. 6, pp. 619-636, 2001.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014098830100072X>
- [66] K. Ibenholt, "Explaining learning curves for wind power," (in English), *Energy Policy*, Article vol. 30, no. 13, pp. 1181-1189, 2002.[Consultado octubre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421502000149>