

## Análisis bibliométrico de las tecnologías de energía solar

Bibliometric analysis of solar energy technologies

Análise bibliométrica de tecnologias de energia solar

**Jorge Daniel Mercado Bautista**

jmercado0070@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6055-1670>

Instituto de Posgrado, Maestría en Mecánica, Mención Eficiencia Energética, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

**Guillermo Antonio Loor Castillo**

guillermo.loor@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4986-7524>

Instituto de Posgrado, Maestría en Mecánica, Mención Eficiencia Energética, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

### RESUMEN

Dentro de las fuentes de energía limpia, la energía solar representa una opción satisfactoria para reducir los gases de efecto invernadero, por ello, instituciones e investigadores desarrollan estudios de nuevas tecnologías para construir un futuro sustentable. Este artículo, evalúa la literatura sobre este tema (1.508 publicaciones) a través de un análisis bibliométrico utilizando el software VOSviewer, identificando las tendencias de investigación y los temas de mayor interés para los investigadores. La mayoría de los documentos son de Brasil, España, México, Argentina, Portugal e Italia. Los resultados muestran que los enfoques más recientes de la energía solar están relacionados con las energías renovables y alternativas, lo que representa un desafío para integrar estas fuentes en sistemas energéticos con altos niveles de penetración. Además, las tecnologías utilizadas para la generación de electricidad están dirigidas a la energía solar fotovoltaica, con el fin de mejorar la capacidad de absorción y almacenamiento de la energía solar, y optimizar la estabilidad del sistema eléctrico.

**Palabra clave:** Tecnología solar, energía solar y Análisis Bibliométrico.

### ABSTRACT

Among clean energy sources, solar energy represents a satisfactory option to reduce greenhouse gases, therefore, institutions and researchers develop studies of new technologies to build a sustainable future. This article evaluates the literature on this topic (1,508 publications) through a bibliometric analysis using the VOSviewer software, identifying research trends and issues of most significant interest to researchers. Most documents are from Brazil, Spain, Mexico, Argentina, Portugal, and Italy. The results show that the most recent approaches to solar energy are related to renewable and alternative energies, which represents a challenge to integrate these sources into energy systems with high levels of penetration. In addition, the technologies used for the generation of electricity are aimed at photovoltaic solar energy, with the purpose of improving the absorption and storage capacity of solar energy, and optimizing the stability of the electrical system.

**Keywords:** Solar technology, solar energy and Bibliometric Analysis.

### RESUMO

Dentro das fontes de energia limpa, a energia solar representa uma opção satisfatória para reduzir os gases de efeito estufa, por isso, instituições e pesquisadores desenvolvem estudos de novas tecnologias para construir um futuro sustentável. Este artigo avalia a literatura sobre o tema (1.508 publicações) por meio de análise bibliométrica utilizando o software VOSviewer, identificando tendências de pesquisa e temas de maior interesse dos pesquisadores. A maioria dos documentos é do Brasil, Espanha, México, Argentina, Portugal e Itália. Os resultados mostram que as abordagens mais recentes da energia solar estão relacionadas às energias renováveis e alternativas, o que representa um desafio para integrar essas fontes em sistemas energéticos com altos níveis de penetração. Além disso, as tecnologias utilizadas para a geração de energia elétrica são voltadas para a energia solar fotovoltaica, a fim de melhorar a capacidade de absorção e armazenamento da energia solar, e otimizar a estabilidade do sistema elétrico.

**Palavras-chave:** Tecnologia solar, energia solar e Análise Bibliométrica.

## Introducción

El principal componente de los gases de efecto invernadero (GEI) es el dióxido de carbono, existe preocupación mundial por la reducción de las emisiones de carbono. En este sentido, se podrían aplicar diferentes políticas para reducir las emisiones de carbono, como mejorar el desarrollo de energía renovable y fomentar las innovaciones tecnológicas (Valencia y al., 2022). En 2016, el mercado de energía solar tenía 2.04 GW de potencia instalados en todo el mundo, de los cuales 1.8 GW estaban operativos y el resto en construcción. En 2020, la cantidad de capacidad instalada mundial de energía solar aumentó a 3.2 GW (Murdock et al., 2020).

La importancia de la energía solar, se une a los desafíos del cambio climático asociados con el uso excesivo de combustibles fósiles. Hay tres motivos principales que provocan el crecimiento de las tecnologías de energía renovable: la seguridad energética, los impactos económicos y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. El término "energía alternativa" se refiere a cualquier forma de energía distinta de las fuentes convencionales de energía. Por tal motivo, en los últimos años la atención se ha centrado en las fuentes de energía renovables (Carrión-Chamba et al., 2021)

Se presentan dos tendencias globales significativas que deberían caracterizar el despliegue de tecnologías renovables a mediano plazo. En primer lugar, a medida que las tecnologías de energías solar aumentan, de un suministro total de 1.454 gigavatios (GW) en 2011 a 2.167 GW en 2017, también deberían extenderse en otros territorios. En segundo lugar, actualmente los altos usos de combustible fósil han llevado a las tecnologías renovables a ser cada vez más competitivas en función de los costos, sin dejar de lado las alternativas energéticas en otros países (IAE, 2012).

En 2021, disminuyó el 17% de la capacidad de producción de energía eólica a nivel mundial, la cual, fue compensada por un aumento de la energía solar fotovoltaica y el crecimiento de las instalaciones hidroeléctricas. Para la energía renovable, las políticas previas a la crisis, conducen a un crecimiento más rápido en nuestro pronóstico actualizado. En particular, la energía eólica y solar fotovoltaica, tienen el potencial de reducir la dependencia del sector eléctrico, que posee la Unión Europea del gas natural de la Federación Rusa (en adelante, "Rusia") en el 2023 (IAE, 2022b).

Existen muchas tecnologías para el uso de energía solar: cilindroparábólico, torre, lineal Fresnel, plato parabólico y paneles fotovoltaicos (González-Roubaud et al., 2017). Los sistemas cilindroparábólicos, lineales de Fresnel y paneles fotovoltaicos siguen al sol a lo largo de un eje, por lo tanto, utilizan un enfoque lineal; Los sistemas de torre y plato siguen el sol a lo largo de dos ejes, utilizando un enfoque puntual. Para cada tecnología, el fluido de transferencia de calor, los sistemas de almacenamiento de energía térmica y el ciclo de potencia se eligen entre las diferentes opciones disponibles (Fernández et al., 2019).

En la actualidad, se cuenta con una cantidad significativa de artículos sobre el tema de análisis y su importancia como fuente de energía alternativa en el sector eléctrico, pero la literatura sobre este tema está dispersa y todavía no está bien organizada, por lo tanto, podría ser difícil de entender. Por lo antes mencionado, este documento pretende brindar una mejor percepción de las tecnologías de energía solar, que podría ayudar a las instituciones e investigadores que trabajan en el tema.

En este caso, el análisis bibliométrico es una técnica que podría ayudar a abordar este problema, permitiendo evaluar el progreso científico desde un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo (Cabeza et al., 2022). De hecho, las técnicas bibliométricas pueden utilizarse para evaluar la producción científica en términos de número de publicaciones, identificar a los principales autores e instituciones que estudian un determinado tema (Vilela Prado et al., 2022). Sin dejar de lado, los vínculos entre elementos bibliométricos (los elementos pueden ser en términos de coautoría, cita, acoplamiento bibliográfico o enlaces de cocitación), también se pueden evaluar y visualizar en mapas utilizando un software.

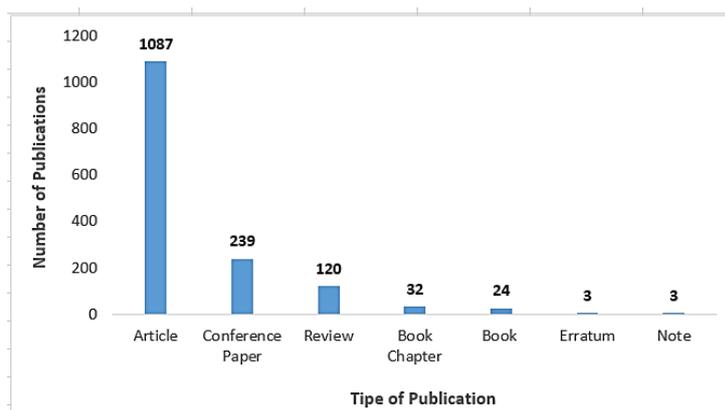
Además, al analizar las palabras clave utilizadas para determinar el alcance de los artículos, es posible identificar las tendencias y brechas de la investigación. Recientemente, las técnicas bibliométricas se han utilizado en la bibliografía para permitir una mejor comprensión del estado del arte en temas relacionados con la energía, como el almacenamiento de energía térmica (Calderón et al., 2020), almacenamiento eléctrico (Reza et al., 2021), energía solar (Dong et al., 2012), y tecnologías energéticas bajas en carbono (Yu et al., 2016). Por lo tanto, el objetivo de este artículo, es evaluar la cantidad de publicaciones que trata sobre las tecnologías de energía solar, para lograr comprender las tendencias de dicha investigación y los temas que han despertado el interés de los investigadores.

## 2. Metodología

La búsqueda bibliográfica se realizó en la base de datos Scopus el 14 de mayo de 2022. Se utilizó la base de datos Scopus porque recopila más documentos sobre tecnologías que cualquier otra base de datos disponible (Cabeza et al., 2020). La consulta utilizada fue simple, pero después de revisar los documentos encontrados, parecía probable que todos ellos estuvieran relacionados con el estudio. La consulta fue “Tecnología Solar y Energía Solar”. Se encontraron un total de 1508 documentos y se evaluaron según el tipo de publicación, distribución por año, por país, por autor, por institución, por área temática y por revista. Además, se analizó la relación entre autores y palabras clave mediante el software de análisis Bibliométrico VOSviewer (Van Eck & Waltman, 2010).

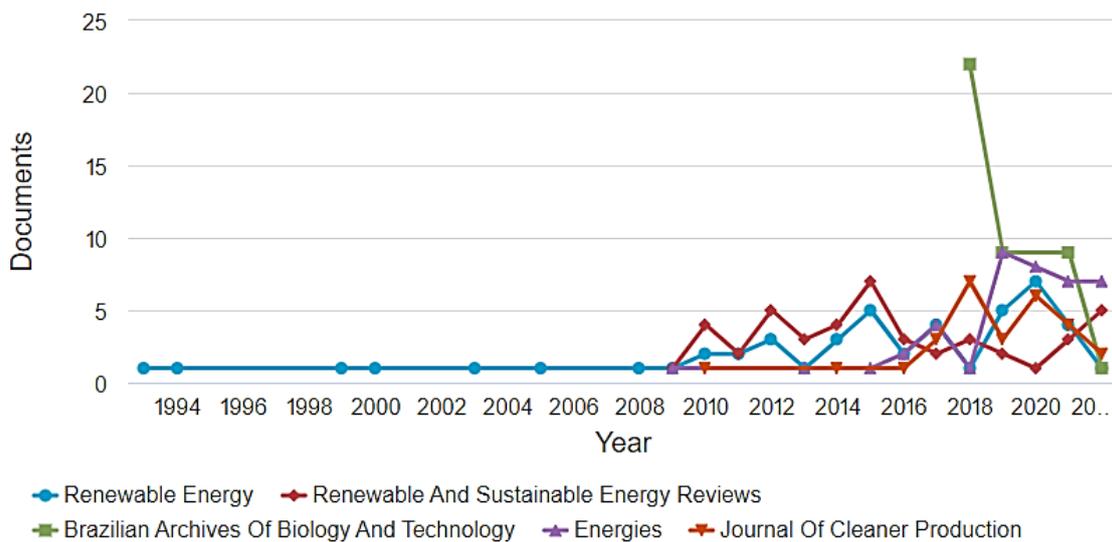
## 3. Resultados y discusión

El tipo de publicación en que se divulgaron la mayoría de los documentos relacionados con la energía solar como se muestra en la Figura 1. En específico, en su mayoría los documentos se publican como artículos/documentos (1087 artículos) y documentos de conferencias (239 documentos). La gran cantidad de información obtenida, muestra que la energía solar es un tema importante para los investigadores en las publicaciones y conferencias. Además, se encontraron 120 reseñas, 32 capítulos de libros, 24 libros, 3 erratas y 3 notas, lo que demuestra que este es un tema de mucho interés.



**Figura 1.** Tipo de Publicación

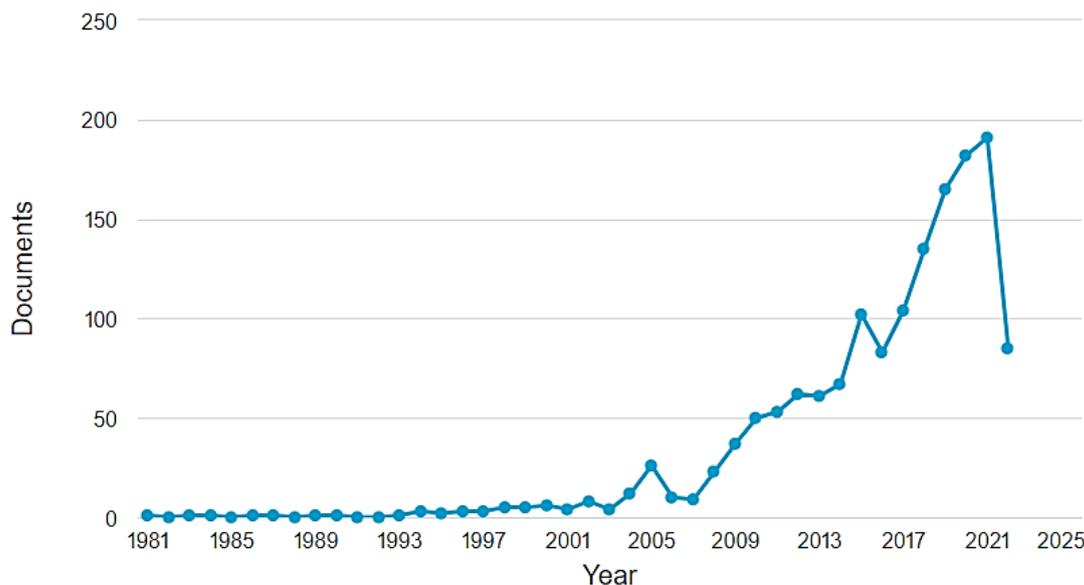
Las revistas en las que se publican la mayoría de los documentos se muestran en la Figura 2. En particular, se encontró que "Energía Renovable" era la primera opción para que los investigadores publicaran estudios relacionados con la energía solar. De los resultados también se destaca que las actas de congresos (Archivos Brasileños de Biología y Tecnología y Revista de Producción más limpia) han publicado diversos estudios que se pueden consultar en formato de acceso abierto.



**Figura 2.** Principales Revistas con Publicaciones Sobre Energía Solar

La tendencia en el número de publicaciones por año se presenta en la Figura 3. Los primeros documentos aparecieron en 1981, y entre cero y veinticinco publicaciones aparecieron cada año hasta 2005 (en el que hubo veintiséis publicaciones), pero el aumento real de documentos comenzó en 2010 (con cincuenta publicaciones) hasta llegar a 135 publicaciones en 2018 y 191 publicaciones en 2021, en el transcurso del mes de mayo de 2022 se tiene 86 publicaciones.

Este incremento, coincide con la creciente atención de producción de energía eléctrica fotovoltaica y la capacidad de almacenamiento de energía solar instalada (Serrano-Guerrero et al., 2021), lo que demuestra que la energía solar es un tema de avance continuo entre los desarrolladores e investigadores de tecnología.

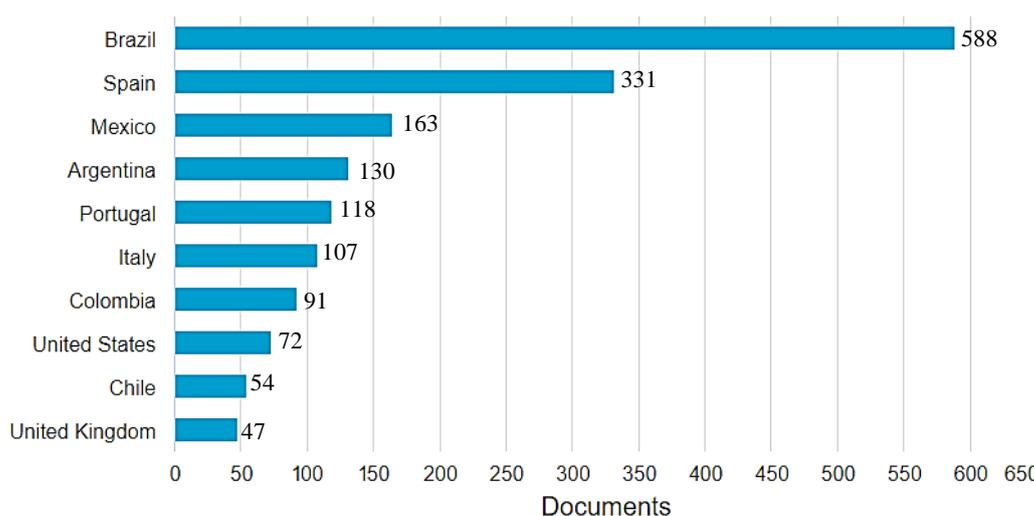


**Figura 3.** Tendencia en el Numero de Publicaciones (Documentos por Año).

Los principales países que están publicando documentos sobre este tema se destacan en la Figura 4. En este caso, Brasil lidera todos los territorios con más documentos publicados (588), seguido de España (331 publicaciones), México (con 163), Argentina (130), Portugal (con 118 publicaciones), Italia (107), Colombia (91), Estados Unidos (con 72), Chile (54 publicaciones) y Reino Unido (47). Al estudiar las tendencias de publicación de los diez países/territorios, se puede ver que la cantidad de documentos publicados por Brasil es altamente significativa, lo que representa el mayor resultado de investigación.

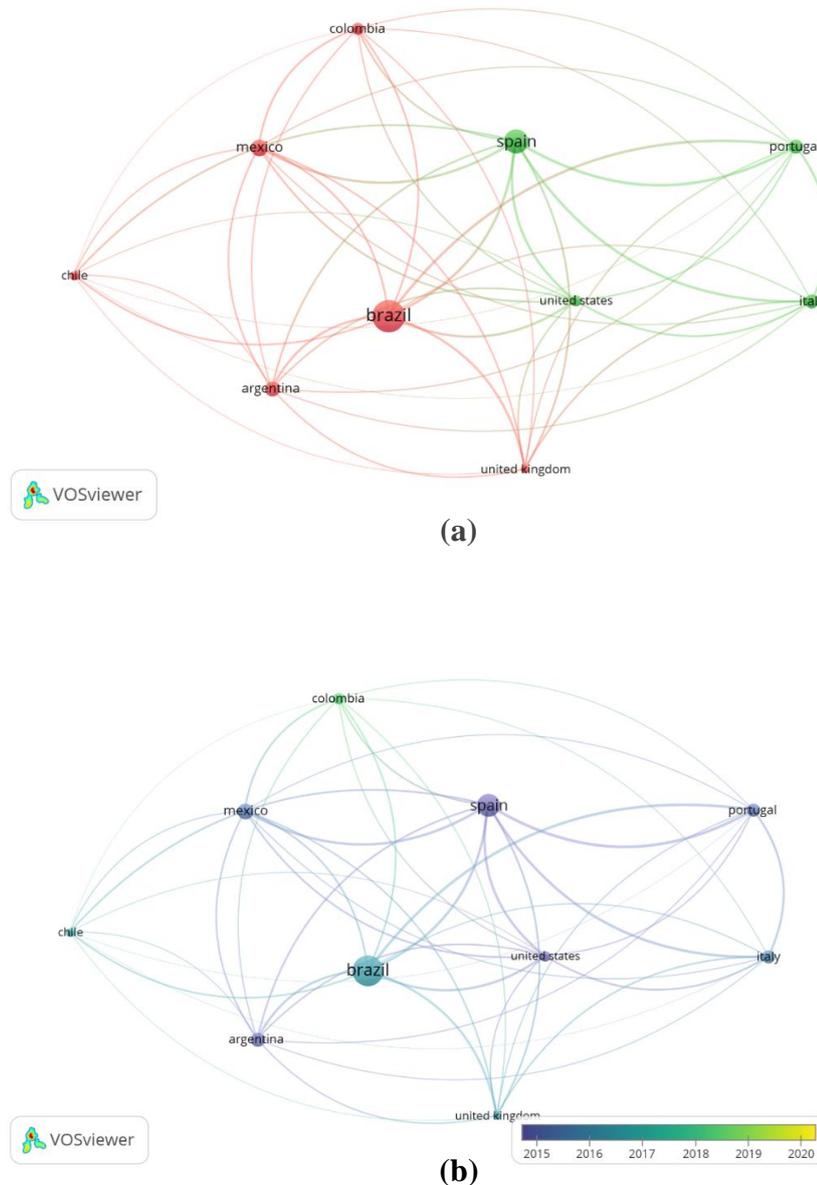
86

**Figura 4.** Documentos Publicados por País/Territorio.



La red de países obtenida utilizando VOSviewer se muestra en la Figura 5. La relación entre países muestra dos Grupos (Figura 5a); el primero incluye a Brasil, México, Argentina, Colombia, Chile y Reino Unido, y este se vincula directamente con el segundo grupo que incluye a España, Portugal, Estados Unidos e Italia; Es interesante ver que los países

primeros en publicar sobre este tema son Estados Unidos, España y Argentina, y los más nuevos son Colombia, Chile, Brasil, Reino Unido, Italia, México, y Portugal (Figura 5b).



**Figura 5.** Relaciones entre países. (a) Relaciones entre grupos de países, y (b) Puntos destacados de la fecha de publicación.

Como era de esperar, las instituciones con el mayor número de documentos (documentos publicados sobre el tema) pertenecen a los países/territorios mencionados en la Tabla 1. América Latina está representada principalmente por instituciones de Brasil, Argentina y México. De Europa, Instituciones de España. (Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid), están presentes en este ranking. Universidad Federal de Rio de Janeiro (Brasil) es la institución con más documentos publicados sobre el tema.

El artículo más citado se publicó en 2017, un estudio sobre las observaciones de múltiples mensajes de una fusión binaria de estrellas de neutrones utilizando la energía solar (Abbott et al., 2017). En 2009, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina) publicó otro documento relevante sobre el comportamiento frente a Límite del flujo difuso de neutrinos tau de ultra alta energía solar con el detector de superficie del Observatorio Pierre Auger (Pierre Auger Collaboration et al., 2009).

**Tabla 1.** Instituciones con mayor número de documentos publicados.

Institución	País	Numero de Publicaciones
Universidad Federal de Rio de Janeiro	Brasil	91
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas	Argentina	76
Universidad Politécnica de Madrid	España	65
Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid	España	64
Universidad de Sao Paulo	Brasil	64
Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina	Argentina	58
Universidad Nacional Autónoma de México	México	51
Universidad Estatal Paulista Julio Mesquita Filho	Brasil	50
Universidad Nacional de San Martín	Argentina	45
Universidad Tecnológica Federal de Paraná	Brasil	45

Las otras instituciones con mayor rendimiento son la Universidad de Sao Paulo, Universidad Estatal Paulista Julio Mesquita Filho y Universidad Tecnológica Federal de Paraná (Brasil), Universidad Nacional Autónoma de México (México), la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina y la Universidad Nacional de San Martín (Argentina).

Excluyendo revisiones, el documento más citado de la universidad mexicana fue un estudio sobre un colector solar cilindroparabólico para procesos de baja entalpía realizando análisis para mejorar la eficiencia mediante el uso de cinta retorcida (Jaramillo et al., 2016), mientras que el Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid (España) publicó el estudio más relevante en 2007, sobre el modelado teórico para proporcionar materiales de banda intermedia para otorgar una célula fotovoltaica de alta eficiencia (Palacios et al., 2007)

Los autores más publicados (al menos 12 documentos publicados) se enumeran en la Tabla 2. Como era de esperar nuevamente, los autores con más publicaciones sobre este tema pertenecen a las instituciones enumeradas anteriormente, pero es interesante ver que la mayoría de ellos son de España y Brasil. El autor con más publicaciones es Wahnón, P. de la Universidad Politécnica de Madrid (España).

La publicación más relevante de este autor en términos de número de citas, se publicó en 2011 y fue un estudio sobre un nuevo material de banda intermedia para un mejor aprovechamiento del espectro solar (Wahnón et al., 2011). Este autor tiene una fuerte coautoría con Palacios, P. (Sánchez-Palencia et al., 2022), (Sánchez-Palencia et al., 2021), (Sánchez-Palencia et al., 2020), y con Aguilera, I. (Das et al., 2022).

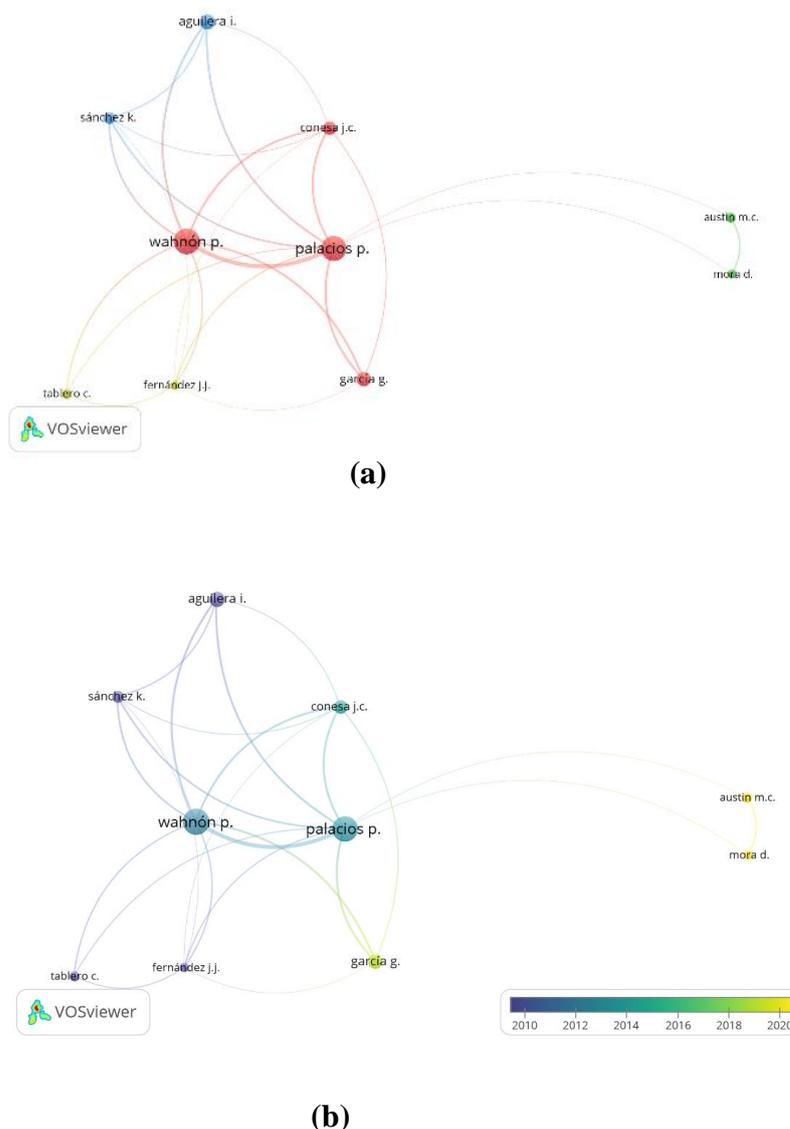
Schaeffer, R, de la Universidad Federal de Rio de Janeiro, cuenta con 26 documentos publicados sobre energía solar y tiene colaboraciones sólidas con Szklo, A. (Callegari et al., 2018), (Szklo et al., 2017). Uno de los estudios más recientes que obtuvo un número significativo de citas se refiere al uso de la energía solar para el calentamiento del agua del sector doméstico en Brasil (Cruz et al., 2020). Litter Marta I, también tiene una mayor producción de publicaciones de tecnologías; uno de los estudios más recientes es la aplicación de tecnología solar para la remoción de arsénico (Litter et al., 2019).

Otro autor significativo sobre el tema es Urbanetz J.J, de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná con uno de sus estudios para la obtención de energía eléctrica a partir de la energía solar en regiones de Paraná (Silveira & Urbanetz Junior, 2021). Li Bassi, A. posee publicación de documentos que tienen colaboración con Casari, C. S. (Gondoni et al., 2015) y con Di Fonzo, F. (Ghadirzadeh et al., 2015). Uno de los estudios más relevantes se publicó en 2018, sobre la aplicación de materiales a base de nitruro de titanio (TiN) como banda ancha de absorción de energía solar (Bricchi et al., 2022).

**Tabla 2.** Autores con mayor número de publicaciones.

Autor	Institución	País	Número de publicaciones en esta consulta	Número total de publicaciones	Índice H
Wahnón Perla	Universidad Politécnica de Madrid	España	36	88	26
Palacios Pablo	Universidad Politécnica de Madrid	España	33	62	21
Schaeffer Roberto	Universidad Federal de Rio de Janeiro	Brasil	26	157	40
Litter Marta I.	Universidad Nacional de San Martín	Argentina	21	198	49
Szklo, Alexandre	Universidad Federal de Rio de Janeiro	Brasil	18	169	32
Urbanetz Junior Jair	Universidad Tecnológica Federal de Paraná	Brasil	15	37	5
Li Bassi Andrea	Politécnico de Milán	Italia	14	166	40
Aguilera Irene	Centro de Investigación Jülich (FZJ)	Alemania	12	47	21
Casari Carlos Spartaco	Politécnico de Milán	Italia	12	140	36
Di Fonzo Fabio	Instituto Italiano de Tecnología	Italia	12	106	32

El mapeo de los autores realizado con VOSviewer (Figura 6) muestra grupos distintivos que congregan a los autores dentro del mismo tema. La figura 6b, muestra que los autores de la Universidad Politécnica de Madrid junto con Aguilera Irene (originalmente también de esta institución) son los que iniciaron a publicar sobre la energía solar, mientras que los autores que están asociados a otras instituciones son aquellos que comenzaron a publicar sobre el tema más tarde (Zarzavilla et al., 2022), (García et al., 2020), (Chen Austin et al., 2020) y (Mora et al., 2019),



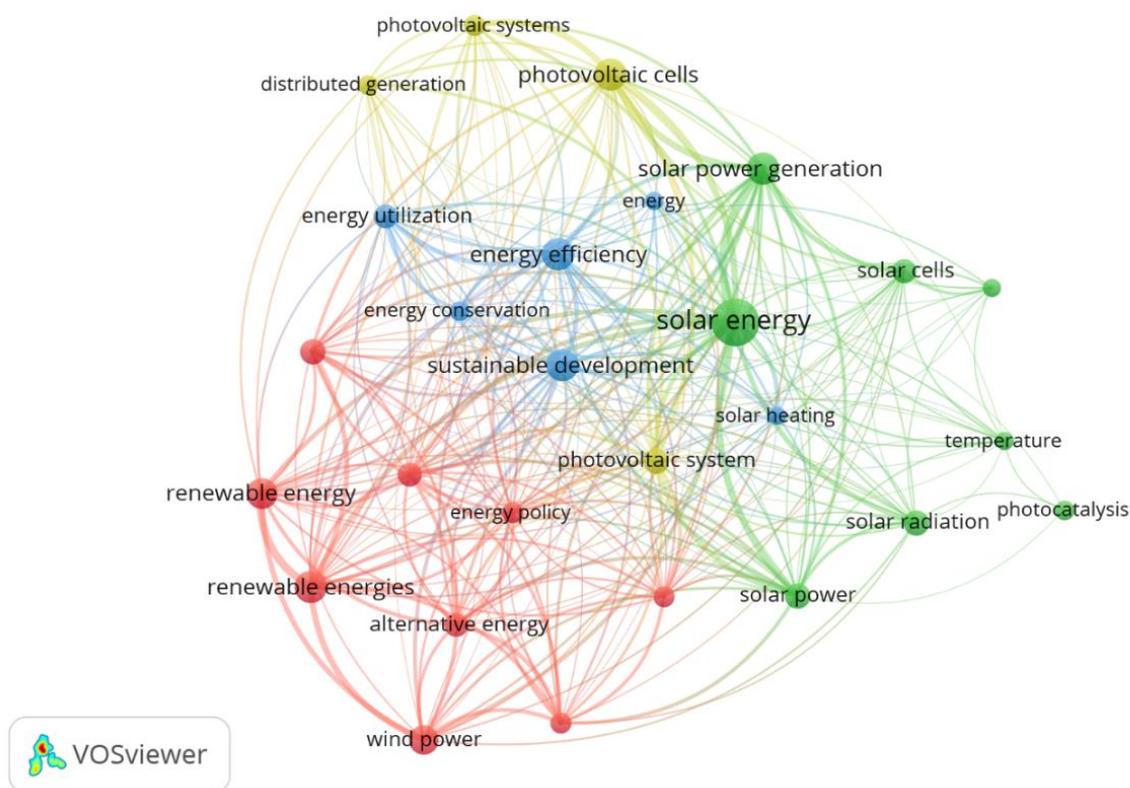
**Figure 6.** Relación entre autores. (a) Relación entre grupos de autores, y (b) Puntos destacados de la fecha de publicación.

La figura 7, muestra el mapeo por VOSviewer de los documentos encontrados mediante la consulta en la base de datos Scopus. Las palabras clave se congregan en cuatro grupos principales. El primer grupo, en verde, contiene las principales palabras clave del tema ("energía solar", "radiación solar" y "células solares"). El segundo grupo, en rojo, está relacionado con las energías renovables y alternativas que representa un desafío para integrar estas fuentes en los sistemas de energía con altos niveles de penetración (Marques et al., 2022), (Nascimento da Silva et al., 2022), (Köberle et al., 2022) y (Villamar et al., 2021). El

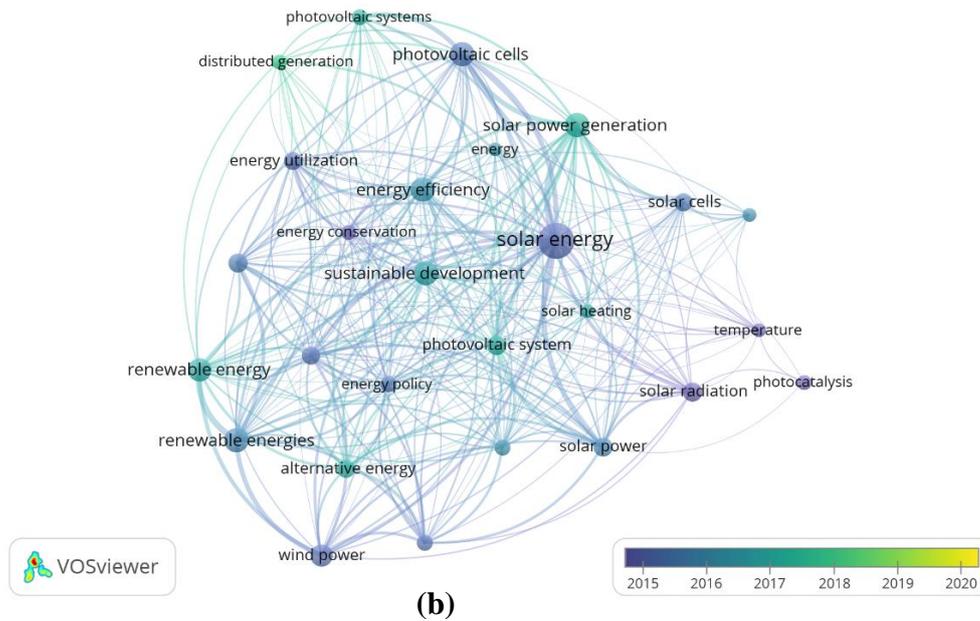
grupo azul está relacionado con la eficiencia energética y el uso adecuado de la energía (Reichert et al., 2022), (Barbosa et al., 2020) y (Köberle et al., 2020). En el grupo amarillo, se pueden observar que está relacionado con los sistemas fotovoltaicos, generación distribuida y células fotovoltaicas (Reichert et al., 2022),

Otra palabra clave relacionada con el primer grupo es "temperatura". El grupo también contiene "fotocatálisis" y "generación de energía solar") que representan el avance de las tecnologías para el uso de la energía solar (Esquivel et al., 2017), (Morones-Esquivel et al., 2020), (González Barriga, 2018) y (Ángel-Hernández et al., 2021). La Figura 7, también muestra las principales técnicas analíticas utilizadas para realizar estudios sobre las tecnologías de energía solar, que son de gran utilidad para que los investigadores conozcan las herramientas que se utilizan para evaluar sus publicaciones. La Figura 7a, muestra que las investigaciones sobre la energía solar han avanzado considerablemente. Sin embargo, la brecha más grande encontrada en este estudio fue el análisis de nuevos materiales para el uso de la energía solar y su relación con otras fuentes de energías (Souza et al., 2022), (Kasinathan & Ayyasamy, 2022), (Ma & Javed, 2019) y (Guo et al., 2018), que serían necesarias para el desarrollo tecnológico global.

La figura 7b, muestra una visualización superpuesta que permite una mejor comprensión de las últimas tendencias en la investigación dedicada al estudio de la energía solar. Por ejemplo, con respecto a los materiales de almacenamiento, recientemente se publicaron estudios realizados con células solares de Perovskita (CSP) (Pascual Mielgo, 2019), es considerada una tecnología emergente y pueden lograr altas tasas de conversión de energía solar.



(a)



**Figura 7.** Co-ocurrencia de palabras clave. (a) Relación entre grupos de palabras clave, y (b) Puntos destacados de la fecha de publicación.

#### 4. Conclusiones

El interés por las tecnologías de energía solar aumenta en el mundo a medida que se intensifican el agotamiento de los recursos naturales globales y la preocupación por la emisión de gases de efecto invernadero, esto ha permitido que las instituciones e investigadores realicen estudios sobre este tema.

En este estudio se realizó un análisis bibliométrico del campo de la investigación científica, estudiando más de mil publicaciones en revistas relevantes y actas de congresos. Los resultados indicaron que la mayoría de las publicaciones provienen de Brasil, España, México y Argentina, existiendo vínculos claros entre estas dos áreas geográficas (Europa y América Latina). Otros Países clave son Estados Unidos, España y Argentina; en orden de las publicaciones más antiguas encontradas.

El análisis de palabras clave, reveló que la mayoría de estudios de los avances de las tecnologías de la energía solar tiene como objetivo integrar esta fuente en los sistemas de energía con altos niveles de penetración. Los nuevos enfoques para aumentar el uso de la energía solar están destinados a la generación de electricidad por medio de la energía solar fotovoltaica, mejorando las características específicas relacionadas con las variables climáticas que provocan intermitencias durante el proceso de generación, promoviendo inestabilidades en el sistema eléctrico.

#### Referencias

- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., Adams, T., Addesso, P., Adhikari, R. X., Adya, V. B., Affeldt, C., Afrough, M., Agarwal, B., Agathos, M., Agatsuma, K., Aggarwal, N., Aguiar, O. D., Aiello, L., Ain, A., ... and. (2017). Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. *The Astrophysical Journal*, 848(2), L12. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa91c9>
- Ángel-Hernández, B., Hernández-Aldana, F., Osorio, G. P., & Gutiérrez-Arias, J. E. M. (2021). Municipal wastewater treatment by photocatalysis: Comparison between UV lamp and solar radiation using TiO<sub>2</sub> and ZnO/TiO<sub>2</sub> synthesized catalysts. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(3), Cat2438-Cat2438. <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/2438>
- Barbosa, J. P., Saraiva, J. D., & Seixas, J. (2020). Solar energy policy to boost Brazilian power sector. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(3), 349-367. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2019-0039>

- Bricchi, B. R., Mascaretti, L., Garattoni, S., Mazza, M., Ghidelli, M., Naldoni, A., & Li Bassi, A. (2022). Nanoporous Titanium (Oxy)nitride Films as Broadband Solar Absorbers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(16), 18453-18463. <https://doi.org/10.1021/acsmi.2c01185>
- Cabeza, L. F., Borri, E., & Prieto, C. (2022). Bibliometric Map on Corrosion in Concentrating Solar Power Plants. *Energies*, 15(7), 2619. <https://doi.org/10.3390/en15072619>
- Cabeza, L. F., Chàfer, M., & Mata, É. (2020). Comparative Analysis of Web of Science and Scopus on the Energy Efficiency and Climate Impact of Buildings. *Energies*, 13(2), 409. <https://doi.org/10.3390/en13020409>
- Calderón, A., Barreneche, C., Hernández-Valle, K., Galindo, E., Segarra, M., & Fernández, A. I. (2020). Where is Thermal Energy Storage (TES) research going? – A bibliometric analysis. *Solar Energy*, 200, 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.050>
- Callegari, C., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2018). Cost overruns and delays in energy megaprojects: How big is big enough? *Energy Policy*, 114, 211-220. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.059>
- Carrión-Chamba, W., Murillo-Torres, W., & Montero-Izquierdo, A. (2021). Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria. *Ingenius*, 27. <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.06>
- Chen Austin, M., Garzola, D., Delgado, N., Jiménez, J. U., & Mora, D. (2020). Inspection of Biomimicry Approaches as an Alternative to Address Climate-Related Energy Building Challenges: A Framework for Application in Panama. *Biomimetics*, 5(3), 40. <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030040>
- Cruz, T., Schaeffer, R., Lucena, Melo, S., & Dutra, R. (2020). Solar water heating technical-economic potential in the household sector in Brazil. *Renewable Energy*, 146, 1618-1639. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.085>
- Das, B., Aguilera, I., Rau, U., & Kirchartz, T. (2022). Effect of Doping, Photodoping, and Bandgap Variation on the Performance of Perovskite Solar Cells. *Advanced Optical Materials*, 10(13), 2101947. <https://doi.org/10.1002/adom.202101947>
- Dong, B., Xu, G., Luo, X., Cai, Y., & Gao, W. (2012). A bibliometric analysis of solar power research from 1991 to 2010. *Scientometrics*, 93(3), 1101-1117. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0730-9>
- Esquivel, M. M. M., Espinoza, J. C. P., Nájera, J. B. P., Hernández, I. C., Reyes, J. N. G., & Santos, M. Á. (2017). Uso de un Reactor de Placa Plana (TiO<sub>2</sub>/Vidrio) Para la Degradación de 2,5-Diclorofenol por Fotocatálisis Solar. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(4), 605-616. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.04.05>
- Fernández, A. G., Gomez-Vidal, J., Oró, E., Kruienza, A., Solé, A., & Cabeza, L. F. (2019). Mainstreaming commercial CSP systems: A technology review. *Renewable Energy*, 140(C), 152-176. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v140y2019icp152-176.html>
- García, G., Sánchez-Palencia, P., Palacios, P., & Wahnón, P. (2020). Transition Metal-Hyperdoped InP Semiconductors as Efficient Solar Absorber Materials. *Nanomaterials*, 10(2), 283. <https://doi.org/10.3390/nano10020283>
- Ghadirzadeh, A., Passoni, L., Grancini, G., Terraneo, G., Li Bassi, A., Petrozza, A., & Di Fonzo, F. (2015). Hyperbranched Quasi-1D TiO<sub>2</sub> Nanostructure for Hybrid Organic-Inorganic Solar Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 7(14), 7451-7455. <https://doi.org/10.1021/am5090429>
- Gondoni, P., Mazzolini, P., Li Bassi, A., Casari, C. S., & Amati, M. (2015). Tuning electrical properties of hierarchically assembled Al-doped ZnO nanoforests by room temperature Pulsed Laser Deposition. *Thin Solid Films*, 594, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.09.066>
- González Barriga, G. A. (2018). Fotocatálisis aplicada a los materiales de la construcción. <http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/6827>
- González-Roubaud, E., Pérez-Osorio, D., & Prieto, C. (2017). Review of commercial thermal energy storage in concentrated solar power plants: Steam vs. molten salts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.084>
- Guo, S., Liu, Q., Sun, J., & Jin, H. (2018). A review on the utilization of hybrid renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1121-1147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.105>
- IAE. (2012). Medium-Term Renewable Energy Market Report 2012. *RENEWABLE ENERGY*, 182.
- IAE, I. E. A. (2022b). Renewable Energy Market Update—May 2022 – Analysis. IEA. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>
- Jaramillo, O. A., Borunda, M., Velazquez-Lucho, K. M., & Robles, M. (2016). Parabolic trough solar collector for low enthalpy processes: An analysis of the efficiency enhancement by using twisted tape inserts. *Renewable Energy*, 93, 125-141. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.046>
- Kasinathan, S., & Ayyasamy, R. (2022). An Optimized Design Modelling of A Neural Network Based Green House Management System Using Solar and Rectifying Antenna. *Dyna*, 97(1), 85-91. <https://doi.org/10.6036/10089>
- Köberle, A. C., Daioglou, V., Rochedo, P., Lucena, A. F. P., Szklo, A., Fujimori, S., Brunelle, T., Kato, E., Kitous, A., van Vuuren, D. P., & Schaeffer, R. (2022). Can global models provide insights into regional mitigation strategies? A diagnostic model comparison study of bioenergy in Brazil. *Climatic Change*, 170(1), 1-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03236-4>
- Köberle, A. C., Rochedo, P. R. R., Lucena, A. F. P., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2020). Brazil's emission trajectories in a well-below 2 °C world: The role of disruptive technologies versus land-based mitigation in an already low-emission energy system. *Climatic Change*, 162(4), 1823-1842. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02856-6>
- Litter, M. I., Ingallinella, A. M., Olmos, V., & Savio, M. (2019). Arsenic in Argentina: Technologies for arsenic removal from groundwater sources, investment costs and waste management practices. *Science of The Total Environment*, 690, 778-789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.358>
- Ma, T., & Javed, M. S. (2019). Integrated sizing of hybrid PV-wind-battery system for remote island considering the saturation of each renewable energy resource. *Energy Conversion and Management*, 182, 178-190. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.059>
- Marques, E. C., Guimarães, V. de A., Azevedo-Ferreira, M. de, & Boloy, R. A. M. (2022). Renewable energy in sustainable supply chain: A review. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 104, 152-167. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210956>
- Mora, D., Araúz, J., & Austin, M. C. (2019). Towards nearly zero energy buildings in Panama through low-consumption techniques: A numerical study. *AIP Conference Proceedings*, 2191(1), 020114. <https://doi.org/10.1063/1.5138847>

- Morones-Esquivel, M. M., Núñez-Núñez, C. M., González-Burciaga, L. A., Hernández-Mendoza, J. L., Osorio-Revilla, G. I., & Proal-Nájera, J. B. (2020). Kinetics and statistical approach for 2,5-dichlorophenol degradation in short reaction time by solar TiO<sub>2</sub>/glass photocatalysis. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 555-568. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Cat732>
- Murdock, H. E., Gibb, D., Andre, T., Sawin, J. L., Brown, A., Andre, T., Appavou, F., Brown, A., Ellis, G., Epp, B., Gibb, D., Guerra, F., Joubert, F., Kamara, R., Kondev, B., Levin, R., Murdock, H. E., Sawin, J. L., Seyboth, K., ... Mastny, L. (2020). Renewables 2020—Global status report (N.o 978-3-948393-00-7; p. 501).
- Nascimento da Silva, G., Rochedo, P., & Szklo, A. (2022). Renewable hydrogen production to deal with wind power surpluses and mitigate carbon dioxide emissions from oil refineries. *Applied Energy*, 311, 118631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118631>
- Palacios, P., Sánchez, K., Conesa, J. C., Fernández, J. J., & Wahnón, P. (2007). Theoretical modelling of intermediate band solar cell materials based on metal-doped chalcopyrite compounds. *Thin Solid Films*, 515(15), 6280-6284. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.12.170>
- Pascual Mielgo, J. (2019). Advanced Perovskite: Fullerene blend films for perovskite solar cells with innovative configurations. <https://doi.org/10/44804>
- Pierre Auger Collaboration, Abraham, J., Abreu, P., Aglietta, M., Aguirre, C., Ahn, E. J., Allard, D., Allekotte, I., Allen, J., Allison, P., Alvarez-Muñiz, J., Ambrosio, M., Anchordoqui, L., Andringa, S., Anzalone, A., Aramo, C., Argirò, S., Arisaka, K., Arneodo, F., ... Ziolkowski, M. (2009). Limit on the diffuse flux of ultrahigh energy tau neutrinos with the surface detector of the Pierre Auger Observatory. *Physical Review D*, 79(10), 102001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.79.102001>
- Reichert, B., Souza, A. M., & Mezzomo, M. (2022). Forecasting electricity generation from renewable sources during a pandemic. *Gestão & Produção*, 29. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e024>
- Reza, M. S., Mannan, M., Wali, S. B., Hannan, M. A., Jern, K. P., Rahman, S. A., Muttaqi, K. M., & Mahlia, T. M. I. (2021). Energy storage integration towards achieving grid decarbonization: A bibliometric analysis and future directions. *Journal of Energy Storage*, 41, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102855>
- Sánchez-Palencia, P., García, G., Wahnón, P., & Palacios, P. (2021). The effects of the chemical composition on the structural, thermodynamic, and mechanical properties of all-inorganic halide perovskites. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 8(16), 3803-3814. <https://doi.org/10.1039/D1QI00347J>
- Sánchez-Palencia, P., García, G., Wahnón, P., & Palacios, P. (2022). Cation substitution effects on the structural, electronic and sun-light absorption features of all-inorganic halide perovskites. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 9(7), 1337-1353. <https://doi.org/10.1039/D1QI01553B>
- Sánchez-Palencia, P., Wahnón, P., & Palacios, P. (2020). Spinel-Type nitride compounds with improved features as solar cell absorbers. *Acta Materialia*, 197, 316-329. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.07.034>
- Serrano-Guerrero, X., Cantos, E., Feijoo, J.-J., Barragán-Escandón, A., & Clairand, J.-M. (2021). Optimal Tilt and Orientation Angles in Fixed Flat Surfaces to Maximize the Capture of Solar Insolation: A Case Study in Ecuador. *Applied Sciences*, 11(10), 4546. <https://doi.org/10.3390/app11104546>
- Silveira, C. de O., & Urbanetz Junior, J. (2021). Performance Estimation of Grid Connected Photovoltaic Systems in Different Regions in Paraná. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-75years-2021200099>
- Souza, T. L. S. de, Lima, R. L. F. A., & Lima Júnior, C. de. (2022). Dirt on photovoltaic modules and efficient energy generation in the Brazilian semiarid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26, 321-326. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n5p321-326>
- Szklo, A., Schaeffer, R., Fichter, T., Soria, R., & Lucena, A. F. P. (2017). Assessing the potential role of concentrated solar power (CSP) for the northeast power system of Brazil using a detailed power system model. *Energy*, 121, 695-715. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.012>
- Valencia, -Bautista Elmer Leandro, Angulo-Guerrero, R. J., Farfán-Bone, J. M., Verá-Lozano, C. J., Arboleda-Cheres, I. A., & Orobio-Arboleda, T. J. (2022). Una revisión del suministro de energía renovable y las tecnologías de eficiencia energética. *Polo del Conocimiento*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3934>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vilela Prado, S., Luiz Souza Simão, J., Ngaski Abubakar, M., & Pasqualotto Severino, V. G. (2022). Bibliometric Analysis as a Tool for the Study of the Croton Genus and Antioxidant Evaluation of Croton antisiphiliticus Mart (Euphorbiaceae). *Revista Virtual de Química*, 14(2), 200-206. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220009>
- Villamar, D., Soria, R., Rochedo, Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer c, R. (2021). Long-term deep decarbonisation pathways for Ecuador: Insights from an integrated assessment model. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100637. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100637>
- Wahnón, P., Conesa, J. C., Palacios, P., Lucena, R., Aguilera, I., Seminovski, Y., & Fresno, F. (2011). V-doped SnS<sub>2</sub>: A new intermediate band material for a better use of the solar spectrum. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(45), 20401-20407. <https://doi.org/10.1039/C1CP22664A>
- Yu, H., Wei, Y.-M., Tang, B.-J., Mi, Z., & Pan, S.-Y. (2016). Assessment on the research trend of low-carbon energy technology investment: A bibliometric analysis. *Applied Energy*, 184, 960-970. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.129>
- Zarzavilla, M., Quintero, A., Abellán, M. A., Serrano, F. L., Austin, M. C., & Tejedor-Flores, N. (2022). Comparison of Environmental Impact Assessment Methods in the Assembly and Operation of Photovoltaic Power Plants: A Systematic Review in the Castilla—La Mancha Region. *Energies*, 15(5), 1926. <https://doi.org/10.3390/en15051926>