

Recibido 25/03/2025  
Aceptado 19/05/2025

# ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS FAMILIARES: ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO DE TEMAS EXPLORADOS, TENDENCIAS Y RETOS

## SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY IN FAMILY DWELLINGS: A BIBLIOMETRIC STUDY OF ISSUES EXPLORED, TRENDS, AND CHALLENGES

## ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIAS FAMILIARES: ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DE TEMAS EXPLORADOS, TENDÊNCIAS E DESAFIOS

### **Amelia Eunice Maldonado-Lozano**

Doctora en Gestión Pública y Gobernabilidad  
Docente de la Escuela de Posgrado, programa Maestría en Ingeniería Civil con mención en dirección de empresas de la Construcción  
Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-8137-1361>  
[amaldonado@ucv.edu.pe](mailto:amaldonado@ucv.edu.pe)

### **Jhony Gárate-Ríos**

Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad  
Docente de la Escuela Internacional de Posgrado  
Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-3062-6106>  
[jgarter@ucvvirtual.edu.pe](mailto:jgarter@ucvvirtual.edu.pe)

### **Magda Ushiñahua-Ushiñahua**

Doctora en Gestión Empresarial  
Docente de la escuela de posgrado - Docente de la facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de San Martín  
Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0009-0003-6773-1422>  
[mushinahuau@ucvvirtual.edu.pe](mailto:mushinahuau@ucvvirtual.edu.pe)

### **Gladis Maribel Heredia-Baca**

Doctora en Gestión Empresarial  
Docente de la Escuela de Posgrado  
Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-0677-6868>  
[gherediab@ucvvirtual.edu.pe](mailto:gherediab@ucvvirtual.edu.pe)

### **Gabriela del Pilar Palomino-Alvarado**

Doctora en Gestión Universitaria  
Docente de la Facultad de Ciencias de la Salud  
Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-2126-2769>  
[gppalomino@unsm.edu.pe](mailto:gppalomino@unsm.edu.pe)

### **Luis Paredes-Aguilar**

Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad  
Docente de la facultad de ingeniería y arquitectura  
Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-1375-179X>  
[luis.paredesaguilar@gmail.com](mailto:luis.paredesaguilar@gmail.com)



## RESUMEN

Este estudio analiza la evolución científica sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares mediante un análisis bibliométrico basado en Scopus y herramientas como Bibliometrix y VOSviewer. Se examinaron 414 documentos publicados entre los años 2000 y 2024, se aplicó un enfoque cuantitativo y técnicas de visualización de redes. Los hallazgos evidencian un crecimiento sostenido desde el año 2008 y un auge desde 2016, impulsado por el interés global en energías renovables. Las principales contribuciones provienen de áreas como energía, ingeniería y ciencias ambientales, consolidándose "Applied Energy" y "Energies" como revistas clave. Conceptos como "solar energy" y "energy efficiency" dominan el campo, destacándose temas motores como almacenamiento de energía e integración de redes inteligentes, y emergentes como simulaciones energéticas. Se recomienda ampliar las fuentes de datos y explorar enfoques comparativos para mejorar la comprensión de los factores que afectan la adopción de esta tecnología.

### Palabras clave

energía solar, tecnología fotovoltaica, viviendas familiares, sostenibilidad

## ABSTRACT

This study analyzes the scientific evolution of solar photovoltaic energy in family dwellings using a bibliometric analysis based on Scopus and tools such as Bibliometrix and VOSviewer. 414 papers published between 2000 and 2024 were reviewed, employing a quantitative approach and network visualization techniques. The findings indicate sustained growth since 2008 and a notable surge since 2016, driven by global interest in renewable energies. The main contributions come from energy, engineering, and environmental sciences, with "Applied Energy" and "Energies" consolidated as key journals. Concepts such as "solar energy" and "energy efficiency" dominate the field, with topics like energy storage and smart grid integration standing out, as well as emerging areas like energy simulations. It is recommended that data sources be expanded and comparative approaches be explored to improve the understanding of the factors influencing the adoption of this technology.

### Keywords

solar energy, photovoltaic technology, family housing, sustainability

## RESUMO

Este estudo analisa a evolução científica da energia solar fotovoltaica em residências familiares por meio de uma análise bibliométrica baseada no Scopus e ferramentas como Bibliometrix e VOSviewer. Foram examinados 414 documentos publicados entre os anos 2000 e 2024, aplicando-se uma abordagem quantitativa e técnicas de visualização de redes. Os resultados evidenciam um crescimento sustentado desde 2008 e um auge desde 2016, impulsionado pelo interesse global em energias renováveis. As principais contribuições provêm de áreas como energia, engenharia e ciências ambientais, com a consolidação de "Applied Energy" e "Energies" como revistas-chave. Conceitos como "energia solar" e "eficiência energética" dominam o campo, com destaque para temas catalisadores como o armazenamento de energia e a integração de redes inteligentes, e temas emergentes como as simulações energéticas. Recomenda-se ampliar as fontes de dados e explorar abordagens comparativas para melhorar a compreensão dos fatores que afetam a adoção desta tecnologia.

### Palavras-chave:

energia solar, tecnologia fotovoltaica, residências familiares, sustentabilidade

## INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica ha emergido como una de las principales soluciones para abordar la creciente demanda de energía limpia y sostenible a nivel global. En un contexto marcado por la transición hacia economías descarbonizadas, las tecnologías fotovoltaicas han mostrado un enorme potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático. Particularmente, las aplicaciones en viviendas familiares han cobrado relevancia debido a su capacidad para promover la autosuficiencia energética, optimizar el consumo de electricidad y contribuir al bienestar económico de los hogares (Maghrabie et al., 2021; Cillari et al., 2021; Nykyri et al., 2022; Vahabi Khah et al., 2023). No obstante, estas iniciativas enfrentan retos significativos relacionados con las limitaciones tecnológicas, los altos costos iniciales de inversión y las barreras normativas que obstaculizan una adopción masiva (Liu et al., 2021b; Herrando et al., 2023; Shabbir et al., 2022).

A nivel global, las políticas climáticas y energéticas han desempeñado un papel crucial en el fomento de proyectos basados en energía solar fotovoltaica en viviendas. La implementación de estrategias como las comunidades energéticas y la generación distribuida en países de la Unión Europea ha promovido la integración de sistemas fotovoltaicos en entornos residenciales, lo que alcanzó resultados prometedores en términos de eficiencia y sostenibilidad (Gallego-Castillo et al., 2021; D'Agostino et al., 2022; Gamaleldine y Corvacho, 2022; García-Gáfar et al., 2022). Sin embargo, las desigualdades regionales en términos de infraestructura y acceso a tecnologías renovables evidencian la necesidad de diseñar enfoques adaptados a las especificidades locales y a las capacidades socioeconómicas de cada región (Nematchoua et al., 2021; Hu et al., 2021; Cerezo-Narváez et al., 2021; Xue et al., 2021).

En este contexto, se plantea la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los patrones y tendencias del abordaje científico en el tiempo sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares? Esta interrogante busca dilucidar no solo la evolución de la producción científica, sino también las áreas prioritarias de investigación, los enfoques metodológicos predominantes y los factores que impulsan o limitan el avance en este campo; y de manera específica: 1) ¿Cuántos estudios se han publicado a lo largo de los años?, 2) ¿Quiénes son los autores más activos en el área?, 3) ¿Cuáles son las revistas más importantes relacionadas con el tema?, 4) ¿Desde qué áreas del conocimiento se han investigado), 5) Cuál es el desarrollo semántico alrededor del fenómeno en estudio?, 6) ¿Cuáles son los temas motores en torno al fenómeno en estudio, perspectivas, nichos, temas emergentes?, 7) ¿Cuáles son las raíces históricas del concepto o constructo central del tema en estudio? La literatura actual presenta una amplia variedad de perspectivas que abordan aspectos

como la gestión eficiente de energía, las tecnologías de almacenamiento y las interacciones entre los usuarios y los sistemas fotovoltaicos (Liu et al., 2021b; Alqahtani y Balta-Ozkan, 2021; Mascherbauer et al., 2022; Padovani et al., 2021).

En tal sentido, el estudio tiene como objetivo principal de conocer los patrones y tendencias del abordaje científico en el tiempo; además, evaluar el impacto de las fuentes académicas, determinar los principales autores, identificar las áreas del conocimiento desde donde se han investigado, explorar los temas más pertinentes, evaluar los enfoques metodológicos, identificar áreas potenciales para futuras investigaciones y establecer el origen del constructo principal del tema a investigar. Este estudio se justifica por la necesidad de comprender cómo ha evolucionado la investigación en energía solar fotovoltaica para viviendas familiares, que identifica patrones, tendencias y áreas de oportunidad para futuras exploraciones. Al proporcionar un análisis bibliométrico integral, se espera contribuir al fortalecimiento del conocimiento en este campo, que ofrece herramientas valiosas para investigadores, responsables de políticas públicas y profesionales que buscan acelerar la transición hacia energías renovables sostenibles.

Diversos estudios han destacado el impacto de las tecnologías complementarias en la mejora del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Por ejemplo, Liu et al. (2021a), Bakthavatchalam et al. (2022) y Heinz y Rieberer (2021) subrayan la importancia del almacenamiento energético mediante baterías y el uso de vehículos hidrógeno para garantizar una provisión continua de energía en comunidades residenciales. Asimismo, Maghrabie et al. (2021), Forroussou et al. (2024), Sadeghibakhtiar et al. (2024) y Sohani et al. (2023) resaltan las aplicaciones innovadoras de los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios, que no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también reducen los costos operativos y promueven la sostenibilidad a largo plazo. Estas investigaciones subrayan la necesidad de un enfoque multidisciplinario que integre perspectivas tecnológicas, económicas y sociales.

Por otro lado, estudios como el de Gallego-Castillo et al. (2021) y Masip et al. (2023) señalan que el éxito de la energía solar fotovoltaica en viviendas depende de un equilibrio adecuado entre regulaciones políticas y la aceptación social. El establecimiento de comunidades energéticas autónomas y el intercambio de energía entre usuarios han sido propuestas clave para fomentar la colaboración y reducir los costos de implementación. Además, investigaciones recientes destacan la necesidad de considerar los cambios climáticos futuros y su impacto en la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos, lo que refuerza la relevancia de una planificación estratégica a largo plazo (Nematchoua et al., 2021; Neves et al., 2021).

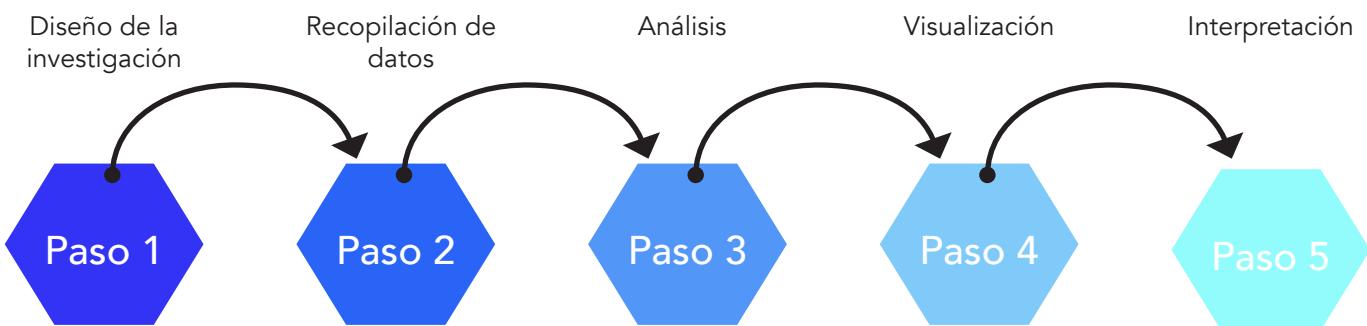


Figura 1. Pasos del modelo metodológico propuesto. Fuente: Elaborado por los Autores.

## METODOLOGÍA

La presente investigación cuantitativa se trata de un análisis bibliométrico, la misma que se ha utilizado en diferentes campos de estudio entre los investigadores (Aria y Cuccurullo, 2017), al mismo tiempo se empleó el modelo metodológico propuesto por Zupic y Čater (2014) que consiste en cinco pasos para su ejecución, los que son: i) diseño de la investigación; ii) recopilación de datos bibliométricos; iii) análisis; iv) visualización y v) interpretación (Figura 1).

### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación, sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, examinó una serie de artículos académicos recopilados hasta el año 2024. El diseño de la investigación es no experimental de corte longitudinal que incorpora estudios desde el año 2000. Por esta razón, este estudio ofrece perspectivas significativas que pueden ayudar a tomar decisiones bien informadas sobre la energía solar fotovoltaica y viviendas familiares, en un panorama complejo y en constante evolución.

### RECOPILACIÓN DE DATOS BIBLIOMÉTRICOS

En el presente análisis bibliométrico se utilizó la base de datos Scopus, reconocida internacionalmente y que cuenta con aproximadamente 28 millones de resúmenes (Burnham, 2006), lo que la convierte en la base de datos más completa disponible. Al mismo tiempo, los parámetros de búsqueda se determinaron a partir de la información contenida en el título, el resumen y las palabras clave de las publicaciones, introduciéndose diversos términos de búsqueda relacionados con el tema de estudio, como "photovoltaic solar energy" o "solar panels" o "photovoltaic systems" o "solar power generation" o "photovoltaic technology" o "distributed solar energy"; y "family homes" o "residential homes" o "Single family homes" o "Family residences" o "Domestic homes" o "Residential buildings". Las palabras mencionadas se seleccionaron para mejorar la precisión, la relevancia y la concentración, al tiempo que se atendía a un amplio abanico de audiencias y puntos de vista; que facilitan

la obtención de resultados más pertinentes y permite explorar varias facetas de la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. La búsqueda inicial arrojó un total de 4,656 documentos que abarcan desde 2000 hasta noviembre de 2024. Cabe destacar que la estrategia de búsqueda limitó a acceso abierto, ya que se buscaba tener acceso a los artículos de investigación.

A continuación, se aplicaron filtros para mejorar los resultados, para ello la búsqueda se realizó en los títulos para los términos clave: TITLE-ABS-KEY ("Photovoltaic solar energy" OR "Solar Panels" OR "Photovoltaic systems" OR "Solar power generation" OR "Photovoltaic technology" OR "Distributed Solar Energy" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "family homes" OR "Residential homes" OR "Single family homes" OR "Family residences" OR "Domestic homes" OR "Residential buildings" ), lo que dio como resultado un total de 414 registro pertinentes para la presente investigación. Asimismo, se obtuvo los datos bibliométricos necesarios de la plataforma Scopus en formato de archivo CSV, el que incluye toda la información disponible, como el número de citas, los autores, el año de publicación, los títulos de las revistas y otros; al utilizar los datos en el estudio para obtener conclusiones y resultados pertinentes.

## RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados del análisis bibliométrico en relación con las preguntas de investigación planteadas, relacionadas con la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares (Tabla 1).

A lo largo del periodo analizado, comprendido entre los años 2000 y 2024, se han publicado un total de 414 documentos, según los datos proporcionados. Este número refleja el esfuerzo continuo en la generación de conocimiento relacionado con el tema de estudio. Además, la tasa de crecimiento anual promedio es del 18.84% indica un incremento constante en la producción científica, lo que sugiere un interés creciente en la comunidad académica por explorar y abordar las áreas temáticas relacionadas. La información refleja una sólida actividad investigativa con un enfoque colaborativo,

Tabla 1. Información general. Fuente: Se utilizó metadatos, los indicadores se analizaron en bibliometrix al 2024.

Descripción	Resultados
INFORMACIÓN PRINCIPAL SOBRE LOS DATOS	
Periodo de tiempo	2000:2024
Fuentes (Revistas, Libros, etc.)	151
Documentos	414
Tasa de crecimiento anual %	18.84
Edad promedio del documento	3,57
Promedio de citas por documento	18.19
Referencias	16240
CONTENIDO DEL DOCUMENTO	
Palabras clave plus (ID)	2588
Palabras clave del autor (DE)	1302
AUTORES	
Autores	1444
Autores de documentos de un solo autor	20
COLABORACIÓN ENTRE AUTORES	
Documentos de un solo autor	21
Coautores por documento	3.86
Coautorías internacionales %	27.29

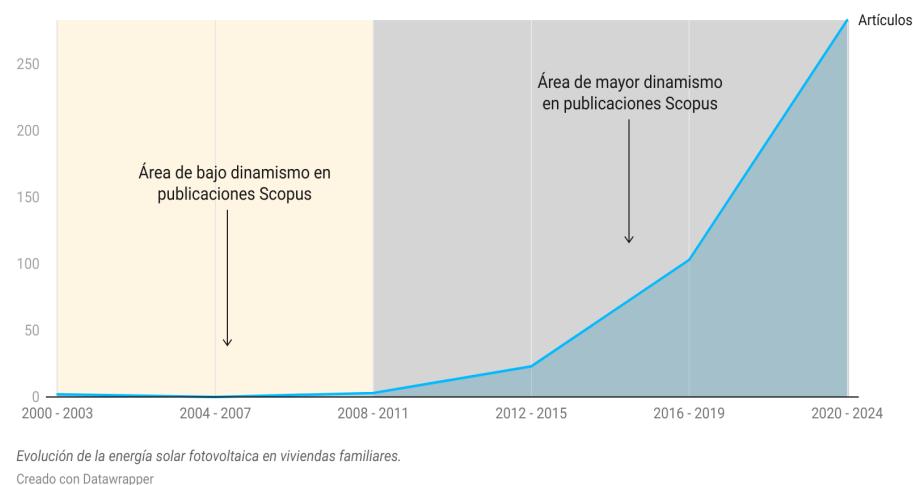


Figura 2. Cambios a lo largo del tiempo en la cantidad de publicaciones. Fuente: Elaborado por los Autores.

dado el promedio de 3.86 coautores por documento y una notable proporción de coautorías internacionales, que alcanza el 27.29%. Esto evidencia una tendencia hacia una mayor integración y cooperación global en los estudios publicados durante el periodo analizado.

La evolución de las publicaciones relacionadas con la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares muestra un patrón interesante a lo largo del tiempo (Figura 2).

Entre los años 2000 y 2007 se observa un área de bajo dinamismo, con un crecimiento lento en la cantidad de artículos publicados. Este periodo refleja un interés inicial limitado o la etapa temprana de la investigación en este campo. A partir de 2008 hasta 2015, se percibe un incremento más sostenido, que marca una transición hacia un área de mayor dinamismo. Sin embargo, es entre 2016 y 2024 cuando se experimenta un crecimiento acelerado, que alcanza un pico significativo de publicaciones. Este

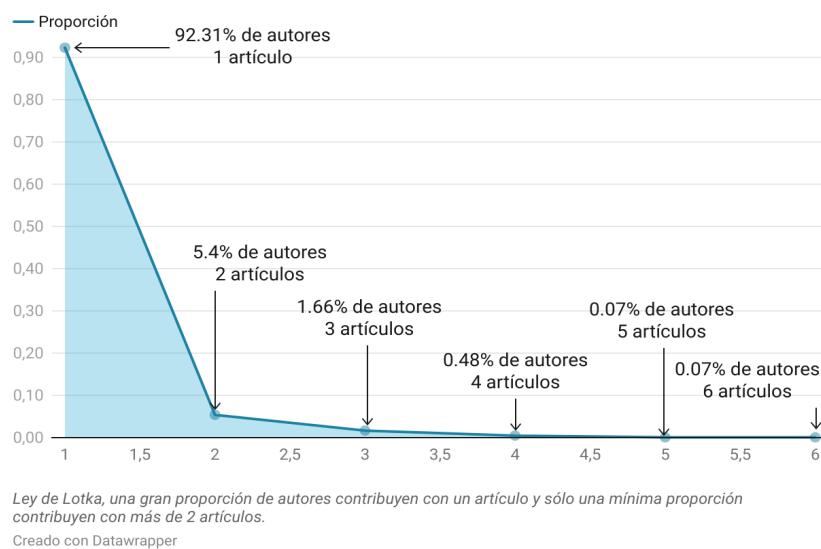


Figura 3. Observancia de la Ley de Lotka. Fuente: Elaborado al utilizar metadatos obtenidos de Scopus, indicadores analizados en bibliometrix y presentados mediante el uso del Datawrapper.

Tabla 2. Rendimientos de los 10 autores más destacados de la colección. Fuente: Elaborada utilizando metadatos obtenidos de Scopus, los indicadores fueron procesados en bibliometrix.

Autor	Índice h	Índice m	Total citas	Publicaciones	Año inicio publicaciones
ABDALLAH R	4	1.00	92	4	2021
ALBATAYNEH A	4	1.00	94	6	2021
ASIF M	4	0.40	164	4	2015
JUAIDI A	4	1.00	92	4	2021
MANZANO-AGUGLIARO F	4	1.00	92	4	2021
ABANDA FH	3	0.33	82	3	2016
CHRISTOFORIDIS GC	3	0.38	105	3	2017
DONG J	3	0.27	25	3	2014
ENONGENE KE	3	0.33	82	3	2016
KURUGANTI T	3	0.43	24	3	2018

Top 10 autores, medidos por índice h y m, desde el año de inicio de publicación

aumento sugiere un interés global creciente en el tema, probablemente impulsado por la mayor conciencia ambiental, las políticas de sostenibilidad y los avances tecnológicos en energía solar fotovoltaica. En tal sentido, la gráfica también destaca que este campo de estudio ha ganado popularidad en los últimos años, con un incremento exponencial en la producción académica entre 2020 y 2024, lo que refleja su relevancia como un tema crítico dentro de los debates sobre energía renovable y sostenibilidad.

La figura 3 y la tabla 2 refuerzan el análisis basado en la Ley de Lotka, que establece que la mayoría de los autores contribuyen con un solo artículo, mientras que un pequeño porcentaje realiza múltiples aportaciones. En este caso, la distribución muestra que 1,333 autores (92.31%) han

publicado únicamente un artículo, lo que confirma que el esfuerzo investigativo en este campo se concentra en contribuciones puntuales. Esto podría deberse a la naturaleza emergente o interdisciplinaria del tema, que ha atraído a investigadores de diversas áreas que realizan una sola publicación relacionada con este ámbito. Asimismo, un número significativamente menor de autores, 78 (5.4%), han publicado dos artículos, mientras que solo 24 autores (1.66%) han contribuido con tres publicaciones. Este patrón decreciente continúa con solo siete autores publicando cuatro artículos y cifras casi marginales para aquellos que han publicado cinco o seis artículos, que representan cada uno el 0.07% de los investigadores.

Este comportamiento sugiere que, aunque el campo de estudio tiene un alcance amplio en términos de

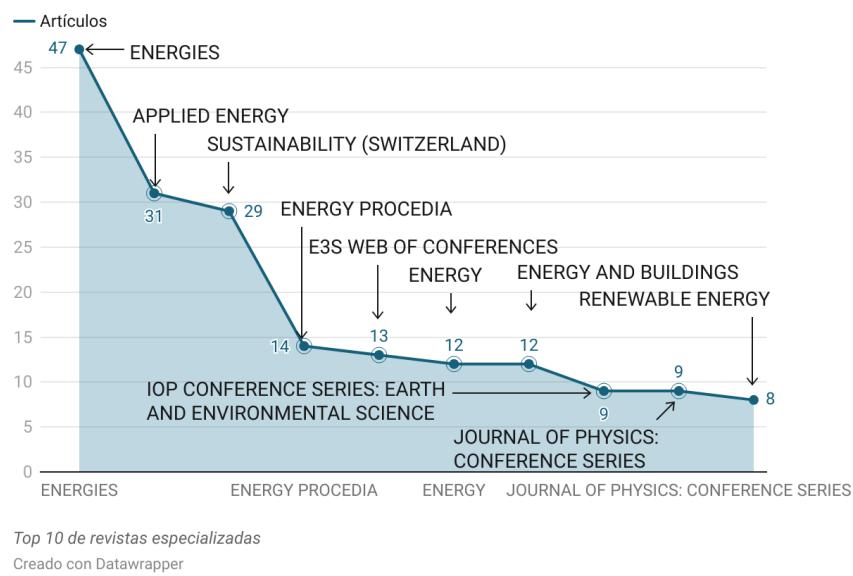


Figura 4. Observancia de la Ley de Bradford en relación con la productividad de las publicaciones periódicas. Fuente: Elaborado por los Autores, al utilizar metadatos obtenidos de Scopus, indicadores analizados en bibliometrix y presentados mediante el uso de Datawrapper.

participación, son pocos los investigadores que se especializan profundamente y realizan contribuciones recurrentes. Tal distribución no solo refleja la naturaleza dinámica del tema, sino también su capacidad para involucrar a investigadores de distintos contextos. Sin embargo, el bajo número de autores con múltiples publicaciones podría indicar una necesidad de consolidar comunidades de investigación más dedicadas al tema, lo que podría potenciar aún más el conocimiento acumulado y las innovaciones en este ámbito.

El análisis de la productividad de los 10 autores más destacados en el campo de la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, basado en los índices h y m, así como en las citas y publicaciones totales, evidencia contribuciones significativas en un rango de tiempo relativamente reciente. La mayoría de estos autores comenzaron a publicar entre 2014 y 2021, lo que refleja que este campo de estudio es relativamente nuevo y ha ganado tracción en los últimos años. Entre los autores, ALBATAYNEH A se destaca como el más prolífico, con seis publicaciones y 94 citas totales, al lograr un índice h de 4 y un índice m de 1.00, lo que indica un impacto constante y sostenido desde 2021. Otros autores como ABDALLAH R, JUAIDI A, y MANZANO-AGUGLIARO F también muestran un rendimiento similar con un índice h de 4 y un índice m de 1.00, junto con cuatro publicaciones cada uno, todas realizadas a partir de 2021. Este grupo de autores representa una contribución reciente y concentrada en términos de impacto académico.

Por otro lado, autores como ASIF M y DONG J presentan una trayectoria más extensa, ya que comenzaron a publicar en los años 2015 y 2014, respectivamente. ASIF M destaca con 164 citas en total, el mayor número entre los autores analizados, lo que sugiere que sus publicaciones

han tenido un impacto significativo en el campo. Sin embargo, su índice m de 0.40 indica un ritmo de citación más moderado en relación con el tiempo transcurrido. Y los autores como ABANDA FH y ENONGENE KE, con un índice h de 3 y un índice m de 0.33, han logrado una buena contribución con tres publicaciones cada uno desde 2016, al acumular 82 citas. En tanto, DONG J y KURUGANTI T tienen un impacto más limitado en términos de citas totales (25 y 24, respectivamente), lo que sugiere que su influencia en el campo podría ser más específica o estar todavía en desarrollo. En general, los datos reflejan un campo en expansión, con contribuciones significativas provenientes de autores que, en su mayoría, han comenzado a publicar en los últimos años. Esto sugiere una tendencia hacia el crecimiento y consolidación del conocimiento en torno a la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, impulsado por un conjunto de investigadores clave que lideran la producción académica.

La figura 4 ilustra la aplicación de la Ley de Bradford en la productividad de revistas relacionadas con la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, enfocándose en las revistas de la zona 1, consideradas como fuentes núcleo. Según esta ley, un pequeño número de revistas concentra la mayoría de las publicaciones en un área temática específica, lo que es evidente en esta gráfica. En este caso, la revista Energies se posiciona como la fuente principal, con 47 artículos publicados, lo que la convierte en el eje central de difusión científica en este campo. Su predominancia refleja su alta especialización y relevancia para los investigadores que trabajan en esta área. Otras revistas, como Applied Energy y Sustainability (Switzerland), también forman parte de este núcleo, con 31 y 29 artículos respectivamente.

Tabla 3. Productividad de las 10 revistas más destacadas, vinculadas a la colección. Fuente: Elaboración de los Autores. Tabla creada con metadatos obtenidos de Scopus, los indicadores fueron procesados en bibliometrix.

Fuente	Índice h	Índice m	Total citas	Publicaciones	Año inicio publicaciones
APPLIED ENERGY	23	2.30	1817	31	2015
ENERGIES	13	1.08	537	47	2013
SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)	13	1.30	498	29	2015
ENERGY PROCEDIA	9	0.90	212	14	2015
ENERGY	8	0.50	281	12	2009
ENERGY AND BUILDINGS	8	0.80	270	12	2015
RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	7	0.88	289	7	2017
RENEWABLE ENERGY	7	0.70	425	8	2015
ENERGY REPORTS	5	0.56	263	7	2016
IEEE ACCESS	5	0.71	159	7	2018

Top 10 revistas más importantes, medidas por el índice h y m, desde el inicio de su publicación

Sin embargo, aunque su contribución es menor que la de Energies, estas revistas siguen siendo fuentes esenciales, que representan plataformas de publicación confiables y de alto impacto para los estudios relacionados con la temática. A medida que se avanza hacia las siguientes revistas de la lista, como Energy Procedia (14 artículos) y E3S Web of Conferences (13 artículos), la productividad disminuye, lo que sigue el patrón esperado por la Ley de Bradford. Estas revistas, aunque relevantes, no alcanzan la misma densidad de publicaciones que las primeras tres, pero continúan siendo significativas dentro de la zona núcleo. En conclusión, la observancia de la Ley de Bradford en esta colección reafirma que un pequeño número de revistas concentra la mayor parte de las publicaciones relevantes. Esto sugiere que los investigadores tienden a preferir estas fuentes núcleo para maximizar la visibilidad y el impacto de sus trabajos, al consolidar su papel como actores clave en la diseminación de conocimiento en el ámbito de la energía solar fotovoltaica.

El análisis de la productividad de las 10 revistas más destacadas vinculadas a la colección (Tabla 3) muestra una clara heterogeneidad en cuanto a impacto y volumen de publicaciones. Applied Energy se posiciona como la revista más influyente, con un índice h de 23, el más alto de la lista, lo que refleja su capacidad para acumular un gran número de citas (1817 en total) provenientes de 31 publicaciones desde 2015. Su índice m de 2.30 indica un impacto constante a lo largo del tiempo. Por otro lado, Energies destaca por su volumen, con 47 publicaciones, la mayor cantidad entre las revistas analizadas, aunque con un índice h de 13 y un total de 537 citas, lo que sugiere un impacto más moderado en relación con su número de artículos. Su índice m de 1.08 refleja una contribución significativa, pero menos consistente en términos de

citas por año desde 2013. Revistas como Sustainability (Switzerland) y Energy Procedia tienen índices h de 13 y 9, respectivamente, con un inicio de publicaciones en 2015. Aunque Sustainability (Switzerland) tiene más publicaciones (29 frente a 14) y un mayor impacto relativo (índice m de 1.30 frente a 0.90), ambas revistas han demostrado ser importantes para el campo.

El caso de Energy es notable por ser la revista más antigua de la lista, que iniciaron sus publicaciones en el año 2009. Con un índice h de 8 y un total de 281 citas, su productividad es consistente, aunque su índice m de 0.50 refleja un ritmo más bajo de acumulación de impacto. Por su parte, Renewable and Sustainable Energy Reviews y Renewable Energy tienen índices h de 7, pero el primero acumula menos publicaciones (7 frente a 8) y un total de citas ligeramente menor (289 frente a 425). Esto podría indicar una especialización más dirigida de los artículos publicados en estas revistas. Finalmente, revistas como Energy Reports e IEEE Access, con índices h de 5 cada una, representan fuentes de menor volumen y antigüedad (desde 2016 y 2018, respectivamente). Sin embargo, su inclusión en esta lista refleja su relevancia emergente en el tema. En conjunto, estas revistas representan una mezcla de plataformas consolidadas y emergentes que, en su conjunto, contribuyen al desarrollo y difusión del conocimiento en energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. La variabilidad en sus índices h, m y número de citas refleja diferencias en alcance, especialización e impacto dentro del campo.

La figura 5 muestra cómo las investigaciones sobre la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares se distribuyen a lo largo de diversas áreas del conocimiento, al reflejar su carácter multidisciplinario. El mayor enfoque

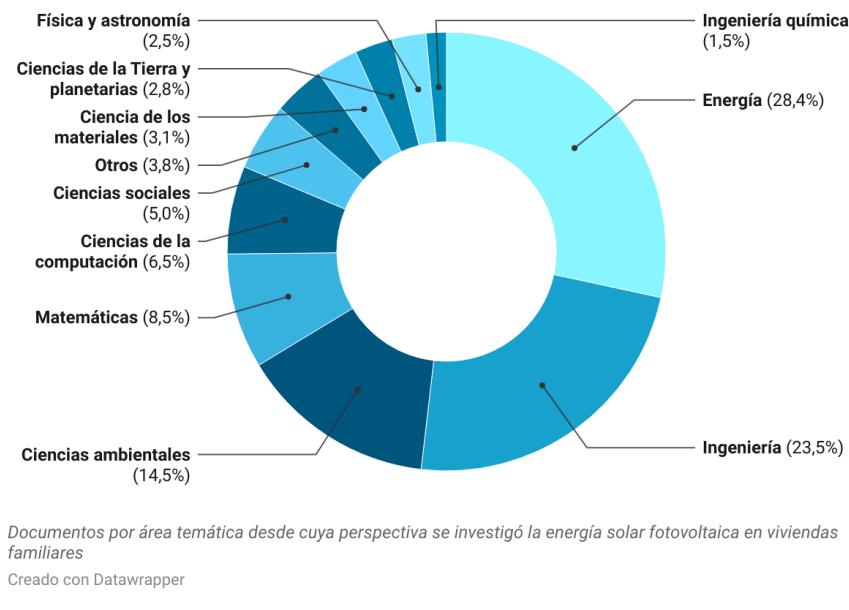


Figura 5. Áreas de conocimiento que investigan de manera científica la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. Fuente: Elaboración de los Autores con metadatos obtenidos de Scopus y se presenta al utilizar Datawrapper.

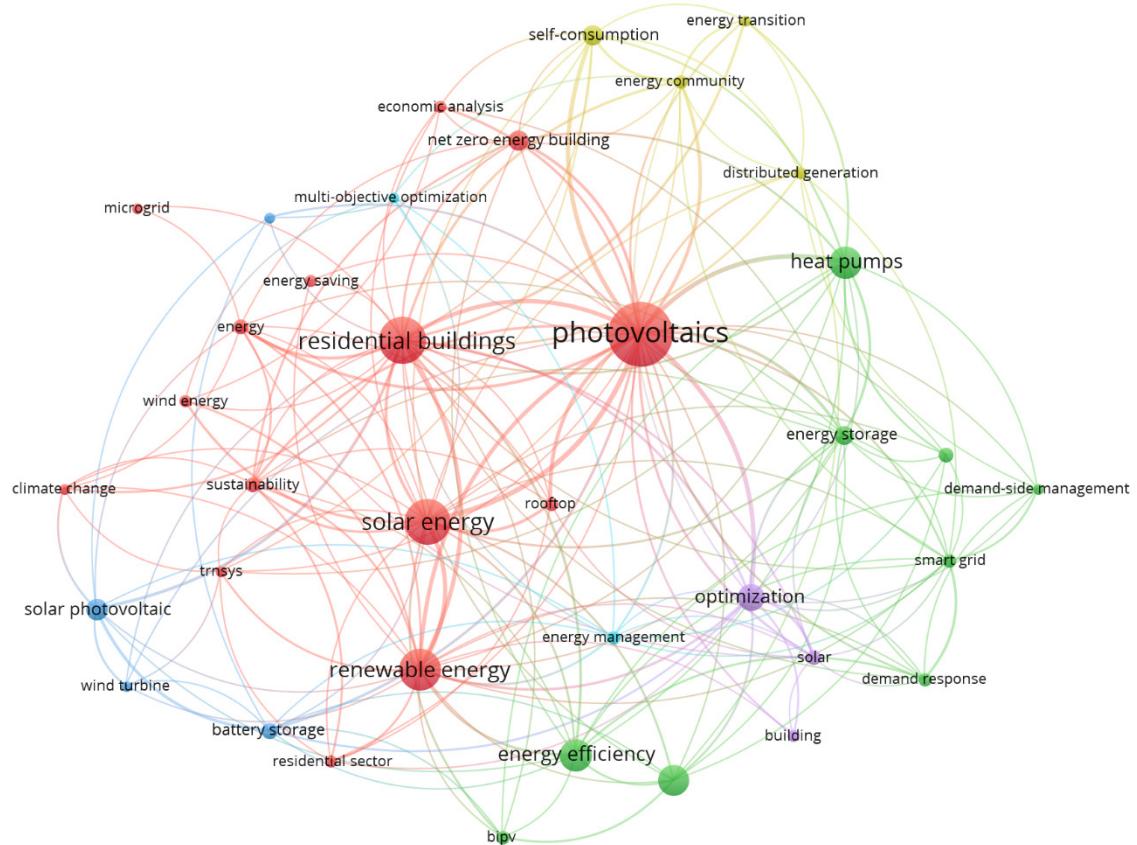


Figura 6. Diagrama de una red semántica que está vinculada a la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. Fuente: Elaboración de los Autores con uso de metadatos obtenidos de Scopus, procesados en Vosviewer.

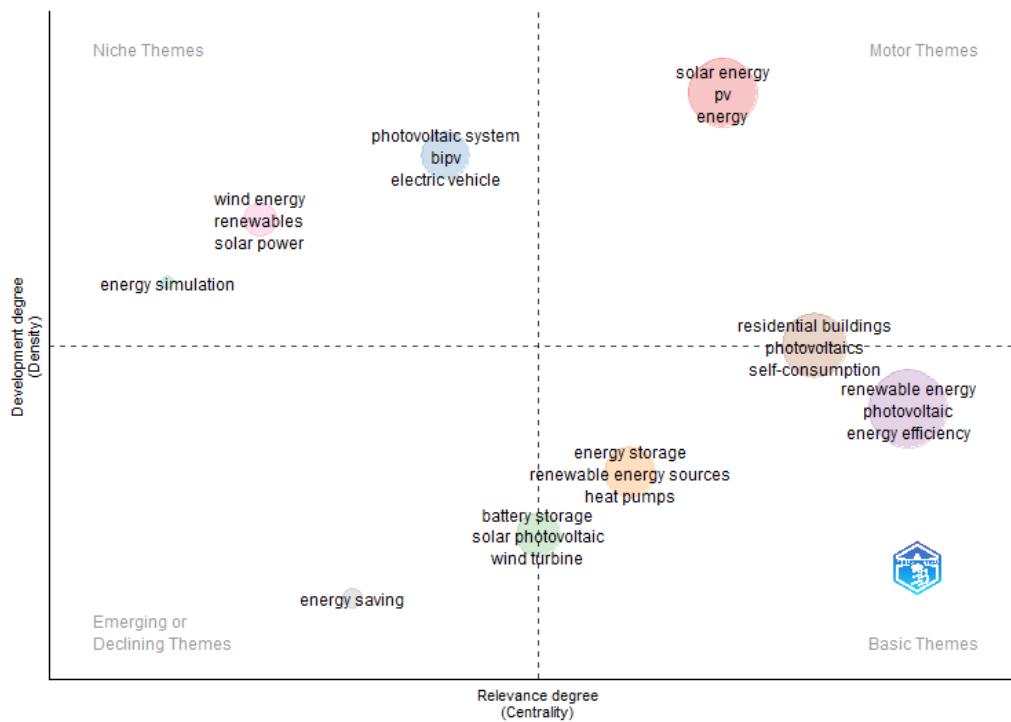


Figura 7. Mapa temático Fuente: Elaboración de los Autores utiliza metadatos obtenidos de Scopus, y los indicadores han sido analizados con Bibliometrix.

provine del área de Energía, que representa el 28.4% de los documentos analizados. Este dato es coherente con la naturaleza del tema, ya que la energía solar fotovoltaica es una tecnología directamente relacionada con el sector energético, tanto en términos de generación como de eficiencia. La segunda área con mayor representación es Ingeniería, con un 23.5% de los estudios. Este enfoque resalta la importancia del diseño, implementación y optimización técnica de los sistemas fotovoltaicos, aspectos que son esenciales para su aplicación efectiva en viviendas familiares.

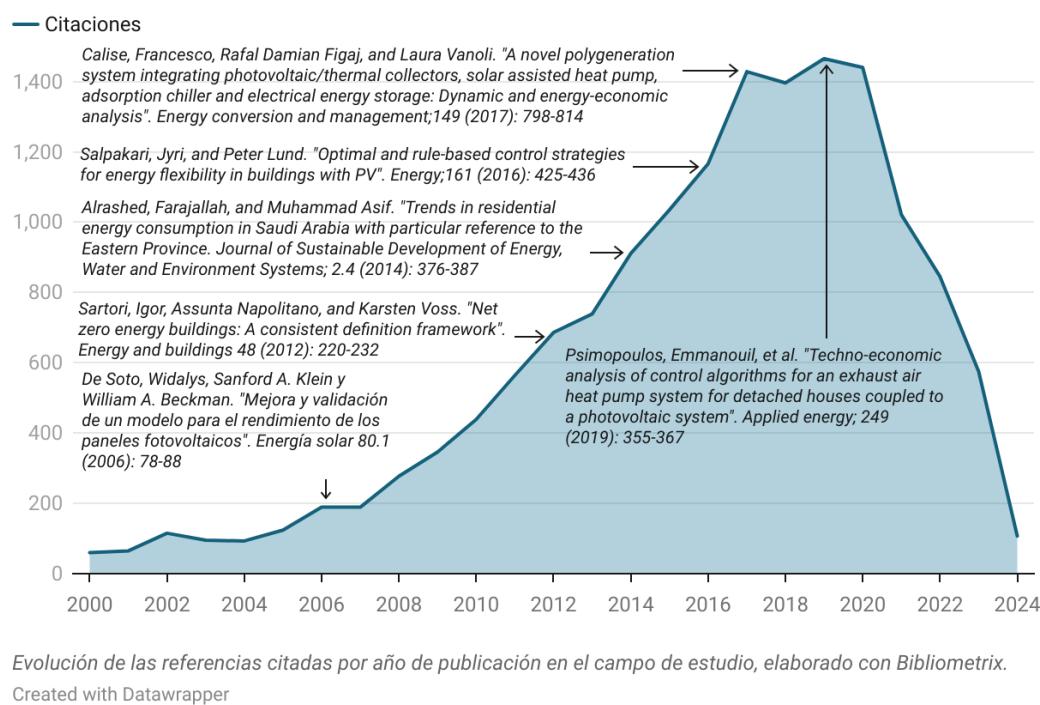
Las Ciencias ambientales ocupan el tercer lugar, con un 14.5% de las investigaciones. Esto subraya el interés en evaluar el impacto ambiental de la adopción de esta tecnología, así como su papel en la transición hacia sistemas de energía más sostenibles y ecológicos. Otras áreas como Matemáticas (8.5%) y Ciencias de la computación (6.5%) también tienen una participación relevante, que refleja el uso de modelos matemáticos y herramientas computacionales para optimizar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos y analizar datos relacionados con su implementación. Las Ciencias sociales (5%) aportan una perspectiva valiosa al considerar factores como la aceptación social, el comportamiento de los usuarios y las políticas públicas que fomentan la adopción de esta tecnología.

Áreas más específicas, como Ciencia de los materiales (3.1%) y Ciencias de la Tierra y planetarias (2.8%), se enfocan en el desarrollo de nuevos materiales para paneles solares y en el análisis de las condiciones

geográficas y climáticas que influyen en su desempeño. Finalmente, Física y astronomía (2.5%) y Ingeniería química (1.5%) tienen menor representación, pero sus contribuciones son clave para entender los principios fundamentales y los procesos químicos involucrados en la conversión de energía solar. En general, la diversidad de áreas del conocimiento involucradas evidencia la complejidad del tema y su capacidad para atraer el interés de disciplinas técnicas, sociales y ambientales, lo que es fundamental para abordar de manera integral los desafíos y oportunidades que presenta la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares.

El diagrama semántico presentado (Figura 6) ofrece una visión detallada de las principales áreas temáticas y conexiones conceptuales relacionadas con la investigación sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. Los clusters diferenciados por colores reflejan agrupaciones temáticas que representan las tendencias clave y los enfoques predominantes en este campo de estudio. El término central "photovoltaics" se encuentra en el núcleo del diagrama, con una fuerte conexión hacia áreas como "residential buildings," "solar energy," y "renewable energy." Esto sugiere que gran parte de la investigación está enfocada en integrar tecnologías fotovoltaicas en edificaciones residenciales, con un énfasis en su papel dentro del marco más amplio de la transición hacia energías renovables.

Luego, el cluster rojo, que abarca términos como "residential buildings," "solar energy," y "renewable energy," indica un enfoque predominante en la integración



Evolución de las referencias citadas por año de publicación en el campo de estudio, elaborado con Bibliometrix.  
 Created with Datawrapper

Figura 8. Espectroscopia del año de la fuente mencionada - Orígenes históricos del enfoque de la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares.  
 Fuente: Elaborado por los Autores, al utilizar metadatos obtenidos de Scopus, indicadores analizados en bibliometrix.

de energía solar en el sector residencial y su contribución a la sostenibilidad energética. La conexión con términos como "sustainability" y "climate change" subraya la relevancia ambiental y social de estas investigaciones. En el cluster verde, términos como "energy efficiency," "heat pumps," y "optimization" destacan un enfoque técnico en mejorar el desempeño y la eficiencia de los sistemas de energía solar fotovoltaica. Este grupo refleja el interés por optimizar tanto los recursos energéticos como los costos, junto con la incorporación de tecnologías complementarias como bombas de calor y redes inteligentes. El cluster azul, más periférico, incluye términos como "solar photovoltaic," "microgrid," y "wind energy," lo que sugiere una exploración interdisciplinaria que combina diferentes fuentes de energía renovable y su integración en microredes. Este enfoque resalta la importancia de la diversidad energética y la descentralización en la generación de energía.

Los términos relacionados con "energy storage," "smart grid," y "demand-side management" sugieren una tendencia emergente hacia la gestión avanzada de la energía, que incluyen almacenamiento y optimización del consumo. Esto es esencial para maximizar el uso de la energía solar y abordar desafíos como la intermitencia y la estabilidad de las redes. En general, el mapa semántico evidencia un campo de investigación en expansión que combina aspectos tecnológicos, ambientales y sociales. Las conexiones entre los términos y clusters indican una tendencia hacia la integración de tecnologías fotovoltaicas en contextos residenciales, apoyada por avances en

eficiencia, almacenamiento, y gestión energética. Además, la inclusión de términos relacionados con sostenibilidad y cambio climático resalta la importancia global y estratégica de estas investigaciones.

La figura 7 proporciona una visión clara de la dinámica investigativa en torno a la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, al clasificar los temas según su relevancia (centralidad) y nivel de desarrollo (densidad). Esta organización permite identificar los enfoques predominantes, las áreas de investigación emergentes y aquellas que están en declive. Tal es así que, en el cuadrante superior derecho, que incluye los temas motores, se encuentran conceptos como solar energy, photovoltaics y energy efficiency. Estos temas tienen alta relevancia y desarrollo, ya que indican que son centrales para la investigación e impulsan el avance del campo. Su posición refleja su papel como pilares de la discusión científica, al destacar la integración de tecnologías fotovoltaicas con enfoques de eficiencia energética y su implementación en edificios residenciales.

Así también, en el cuadrante inferior derecho, que agrupa los temas básicos, incluye términos como renewable energy, energy storage y wind turbine. Estos temas son fundamentales para el campo, pero están menos desarrollados, lo que sugiere que sirven como base conceptual para investigaciones futuras. Su centralidad indica que son ampliamente conectados con otros temas, aunque podrían beneficiarse de una mayor profundización y especialización. Y, en el cuadrante superior izquierdo,

donde se sitúan los temas de nicho, se encuentran conceptos como photovoltaic system, BIPV (Building Integrated Photovoltaics) y electric vehicle. Estos temas tienen un alto grado de desarrollo, pero baja relevancia central, lo que sugiere que son áreas especializadas con potencial para convertirse en tendencias más amplias si logran una mayor conexión con las problemáticas centrales del campo.

Luego, en el cuadrante inferior izquierdo, que representa los temas emergentes o en declive, incluye términos como energy saving y energy simulation. Su baja centralidad y densidad sugieren que estas áreas, aunque pueden ser relevantes en contextos específicos, no están actualmente en el foco principal de las investigaciones. Esto podría indicar una disminución en el interés o la necesidad de reformular su conexión con los temas motores. En general, el mapa temático refleja un campo en evolución, donde los temas motores como la eficiencia energética y las tecnologías fotovoltaicas lideran las investigaciones, mientras que áreas relacionadas con el almacenamiento de energía y las energías renovables ofrecen bases para nuevas exploraciones. Por otro lado, los temas de nicho presentan oportunidades para avanzar en áreas especializadas, mientras que los emergentes o en declive podrían requerir reevaluación para mantener su relevancia.

La figura 8 muestra una evolución histórica de las citaciones relacionadas con investigaciones clave sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, se destacan documentos seminales que han marcado hitos en el desarrollo de este campo. Estos estudios reflejan la consolidación del conocimiento a lo largo del tiempo y el aumento de su relevancia en el ámbito académico. En tal sentido, el trabajo de Calise et al. (2017), lidera las citaciones con su enfoque innovador en sistemas de poligeneración que integran colectores fotovoltaicos/térmicos, bombas de calor solares y almacenamiento energético. Este estudio destaca por ofrecer soluciones dinámicas y económicamente viables para la gestión energética en edificios, al establecer un estándar para investigaciones posteriores en optimización y sostenibilidad.

Es así que, el documento de Salpakari y Lund (2016) se enfoca en estrategias de control basadas en reglas para mejorar la flexibilidad energética en edificios con sistemas fotovoltaicos. Este trabajo ha sido ampliamente citado debido a su contribución al desarrollo de enfoques prácticos y escalables para integrar tecnologías solares en la infraestructura residencial. Según, el artículo de Alrashed y Asif (2014) analiza el consumo energético residencial en Arabia Saudita, centrándose en los desafíos y oportunidades para implementar sistemas de energía renovable. Su relevancia radica en proporcionar un marco de referencia para la transición energética en regiones con altos niveles de irradiación solar. El estudio de Sartori et al. (2012), establece un marco consistente para

la definición de edificios de energía cero, un concepto clave para avanzar hacia viviendas más sostenibles. Este trabajo es fundamental para el diseño y planificación de infraestructuras que minimicen la dependencia de fuentes energéticas no renovables.

Y el trabajo de De Soto et al. (2006), se centró en el desarrollo y validación de modelos para evaluar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Como uno de los primeros esfuerzos en este ámbito, sus hallazgos han servido como base para investigaciones más avanzadas en simulación y optimización de sistemas solares. Tal es así que, el artículo de Psimopoulos et al. (2019) realiza un análisis tecnoeconómico de algoritmos de control para bombas de calor acopladas a sistemas fotovoltaicos en viviendas unifamiliares. Este estudio combina perspectivas técnicas y económicas, al destacar su aplicabilidad en la vida real. Es decir, la tendencia ascendente de las citaciones hasta el año 2019 refleja un interés creciente y la consolidación de estas investigaciones como referencias esenciales. El posterior descenso puede indicar una transición hacia nuevas áreas de enfoque o la aparición de investigaciones más recientes que están comenzando a redefinir el campo. Estos trabajos han sido pilares fundamentales en la evolución de las tecnologías solares aplicadas a viviendas familiares, ya que sientan las bases para un futuro energético más sostenible.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares reflejan patrones consistentes y algunas divergencias en comparación con los estudios previos citados en la literatura analizada. En cuanto a los indicadores principales, el incremento anual promedio del 18.84% en la producción científica observada desde el año 2000 hasta el 2024 converge con la tendencia global reportada por Gallego-Castillo et al. (2021), Hamed Banirazi Motlagh et al. (2023), Mustafa et al. (2022) y Rinaldi et al. (2021). Estos autores también identificaron un crecimiento exponencial en el interés académico hacia sistemas sostenibles, particularmente en regiones con alto potencial solar. Sin embargo, mientras estos estudios destacan el contexto geográfico como factor clave, el análisis realizado en la siguiente investigación enfatiza una mayor colaboración internacional con un 27.29% como motor principal de este crecimiento.

Respecto a la evolución de las publicaciones, los picos de productividad a partir del 2016 coinciden con un aumento global en políticas de sostenibilidad y tecnologías emergentes, como se observa en Fina et al. (2021), Wu et al. (2022). La distribución por áreas del conocimiento reafirma la naturaleza multidisciplinaria del campo, con la energía (28.4%) y la ingeniería (23.5%) que lidera la investigación. Esto está en línea con las tendencias

señaladas por De Soto et al. (2006), quienes subrayan la integración de conceptos de ingeniería y energía en el desarrollo de tecnologías fotovoltaicas.

Los principales autores como por ejemplo, ABDALLAH R (Albatayneh et al., 2021; Albatayneh et al., 2022; Monna et al., 2022) y revistas identificados, como Applied Energy (Bayer y Pruckner, 2024; Johari et al., 2024; Ramadhani et al., 2024) y Energies (Constantinides et al., 2024; Ollas et al., 2024; Zaboli et al., 2024), se destacan como plataformas clave, al confirmar la aplicación de la Ley de Bradford. Este hallazgo coincide con el análisis de Sartori et al. (2012), que destaca estas revistas como pilares en la diseminación del conocimiento. Sin embargo, las diferencias en índices de impacto, como el índice h de Energies (13 frente a 23 de Applied Energy), sugieren disparidades en la relevancia académica entre los canales de publicación.

El desarrollo semántico de la temática revela clusters temáticos que integran "residential buildings" y "renewable energy", alineándose con los enfoques de Psimopoulos et al. (2019). Este estudio también explora conexiones interdisciplinarias, aunque en menor profundidad, comparado con el amplio rango temático que nuestro análisis destaca. Los resultados de este estudio, que analizan los patrones y tendencias en la investigación sobre la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, encuentran convergencias y divergencias con investigaciones recientes. Estas comparaciones permiten contextualizar nuestros hallazgos dentro del panorama más amplio de la disciplina y extraer implicaciones clave.

Primero, los temas motores identificados en el mapa temático desarrollado, como "solar energy", "photovoltaics" y "energy efficiency", se alinean con el énfasis global en la integración de tecnologías renovables en viviendas familiares. Esto concuerda con el análisis de Sarker et al. (2023), que destaca la implementación de sistemas fotovoltaicos residenciales en Malasia como una estrategia clave para reducir costos de electricidad y emisiones de carbono; así también, se desataca la importancia del almacenamiento de energía para maximizar el autoconsumo de la energía producida (Ali Yildirim et al., 2023). Ambos estudios subrayan el papel de estas tecnologías como pilares en la transición energética. Sin embargo, el hallazgo acerca de los temas emergentes, como "energy saving" y "energy simulation", carecen de integración teórica robusta, contrasta con estudios como el de Soomar et al. (2022), que exploran tendencias emergentes en la optimización de energía fotovoltaica para abordar limitaciones económicas y ambientales. Esto destaca una oportunidad de profundizar en estos temas mediante enfoques metodológicos más avanzados.

En términos de desafíos técnicos, investigaciones como las de Bandaru et al. (2021), que revisan la tecnología

fotovoltaica-térmica (PVT) en aplicaciones residenciales, resaltan limitaciones estructurales y financieras que coinciden con los obstáculos identificados en nuestros resultados; en ese sentido, los costos y la planificación de la infraestructura de almacenamiento y de la red son desafíos financieros y técnicos importantes (Nordgård-Hansen et al., 2022). Estos hallazgos refuerzan la importancia de una mayor innovación tecnológica para superar barreras críticas. Es así que, el análisis de la densidad colaborativa en la producción científica refleja la naturaleza interdisciplinaria del campo. Este resultado se complementa con la discusión de Tawalbeh et al. (2020), quienes evalúan los impactos ambientales de los sistemas fotovoltaicos y proponen diseños sostenibles para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero; lo que se relaciona, con la aplicación de algoritmos de optimización metaheurística, como el Algoritmo del Lobo Gris Multiobjetivo (MOGWO), para determinar el tamaño óptimo de sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV) y la capacidad de las baterías, con el objetivo de minimizar el Coste Nivelado de la Energía (LCOE) en diferentes climas, lo que demuestra la convergencia de la ingeniería de la energía solar con la ciencia de la computación y la optimización matemática (Behzadi et al., 2023). Ambos estudios enfatizan la relevancia de enfoques colaborativos para abordar problemas complejos.

La convergencia de los resultados con estos estudios recientes subraya el rol central de la energía solar fotovoltaica en la transición hacia modelos sostenibles de energía residencial. Sin embargo, la identificación de divergencias evidencia áreas que requieren mayor atención académica y técnica, que fortalece las bases para futuras investigaciones en este dinámico campo. Finalmente, las raíces históricas del concepto muestran convergencia con los hallazgos seminales de Calise et al. (2017), quienes establecen estándares en la optimización y viabilidad económica de los sistemas solares. Este análisis refuerza estos antecedentes al identificar un crecimiento sostenido en citaciones hasta el 2019, indica que su papel es fundamental en la consolidación del campo.

Las principales contribuciones de este estudio incluyen una visión integral de los patrones y tendencias en la investigación sobre energía solar fotovoltaica en viviendas familiares, se destacan áreas clave como la colaboración internacional, la multidisciplinariedad y la identificación de temas motores. Estas perspectivas son útiles para investigadores y responsables de políticas al delinejar estrategias para la adopción de tecnologías renovables. No obstante, las limitaciones del estudio incluyen la dependencia de una única base de datos, lo que podría sesgar los resultados hacia los artículos indexados en Scopus. Además, el análisis de metadatos, aunque riguroso, podría beneficiarse de una triangulación con otras bases de datos como Web of Science para validar y enriquecer los hallazgos. Futuras

investigaciones podrían explorar el impacto de las tecnologías emergentes, como las redes inteligentes y el almacenamiento energético, en la adopción de sistemas fotovoltaicos en viviendas. Además, estudios comparativos entre países o regiones con diferentes grados de madurez tecnológica y políticas públicas podrían proporcionar ideas adicionales sobre los factores que impulsan o limitan la adopción de esta tecnología.

## CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico realizado en esta investigación permite responder de manera integral a las preguntas planteadas, al proporcionar un panorama claro sobre los patrones y tendencias en la investigación de la energía solar fotovoltaica en viviendas familiares. En primer lugar, se identifica un crecimiento significativo y sostenido en la producción científica desde el año 2000, impulsado por la creciente atención hacia la sostenibilidad y la transición hacia energías limpias. Esta tendencia refleja un interés global que se concentra especialmente en las últimas dos décadas, y coincide con el avance de las tecnologías fotovoltaicas y las políticas ambientales internacionales.

Los autores más destacados en este campo presentan contribuciones recientes, con inicios de publicaciones predominantemente en la última década. Esto evidencia que el tema se encuentra en una fase de crecimiento y consolidación, que atrae a investigadores de diversos contextos y disciplinas. Sin embargo, la mayoría de los autores tienen una participación limitada en cuanto al número de publicaciones, lo que podría sugerir una falta de especialización sostenida en este ámbito específico.

Las revistas más influyentes, como Energies y Applied Energy, cumplen un papel central en la diseminación del conocimiento sobre energía solar fotovoltaica en viviendas. Estas plataformas concentran la mayor parte de las publicaciones relevantes, lo que refuerza la aplicación de la Ley de Bradford en el campo. La diversidad de índices de impacto entre estas revistas refleja diferencias en alcance y especialización, lo que proporciona opciones para investigadores con diversos enfoques.

El carácter multidisciplinario del campo es evidente en la distribución de las áreas del conocimiento que lo abordan, destacándose la energía, la ingeniería y las ciencias ambientales. Este enfoque diversificado permite abordar los complejos desafíos técnicos, sociales y ambientales que plantea la implementación de tecnologías fotovoltaicas en viviendas. Además, el desarrollo semántico refleja la interconexión de términos clave, como "sostenibilidad" y "eficiencia energética", con perspectivas emergentes que integran almacenamiento y redes inteligentes.

Finalmente, el análisis histórico muestra que los estudios seminales han establecido bases sólidas para el desarrollo

del campo, especialmente en áreas como la optimización de sistemas y la viabilidad económica. Estos trabajos han guiado las investigaciones posteriores, que marcan hitos en la comprensión y aplicación de las tecnologías solares en viviendas familiares. Este legado, combinado con la continua generación de conocimiento, asegura la relevancia del tema en los debates actuales sobre energías renovables.

Aunque los hallazgos de esta investigación son significativos, se deben reconocer algunas limitaciones. La dependencia de una sola base de datos, Scopus, puede limitar la amplitud del análisis y excluir perspectivas valiosas de otras fuentes. Además, el enfoque en metadatos deja fuera análisis cualitativos más profundos que podrían enriquecer la interpretación de los resultados. De cara al futuro, se recomienda expandir el análisis hacia bases de datos adicionales, como Web of Science, para una mayor representatividad y robustez de los resultados. Asimismo, las investigaciones futuras podrían enfocarse en estudiar el impacto de tecnologías emergentes, como redes inteligentes y almacenamiento energético, en el contexto residencial. Estudios comparativos entre países también aportarían perspectivas únicas sobre cómo las políticas locales y las condiciones socioeconómicas influyen en la adopción de estas tecnologías. En conjunto, estas acciones podrían fortalecer el entendimiento global y fomentar estrategias efectivas para acelerar la transición hacia energías limpias.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT

Conceptualización, A.E.M.L.; Curación de datos, J.G.R.; Análisis formal, J.G.R; Adquisición de financiación; Investigación, A.E.M.L.; Metodología, J.G.R.; Administración de proyecto, G.M.H.B., M.U.U; Recursos, L.P.A.; Software. A.E.M.L.; Supervisión, G.del P.P.A.; Validación, J.G.R.; Visualización, G.M.H.B., M.U.U, L.P.A.; Escritura – borrador original, A.E.M.L.; Escritura – revisión y edición, J.G.R.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú (Puno – Perú) por su invaluable colaboración y soporte durante el desarrollo de esta investigación, en el curso de Posdoctorado en Metodología de la Investigación y Producción Científica. Agradecemos especialmente al Dr. Wilson Sucari por sus valiosas aportaciones y comentarios que enriquecieron significativamente el presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albatayneh, A., Juaidi, A., Abdallah, R., y Manzano-Agugliaro, F. (2021). Influence of the Advancement in the LED Lighting Technologies on the Optimum Windows-to-Wall Ratio of Jordanians Residential Buildings. *Energies*, 14(17), 5446. <https://doi.org/10.3390/en14175446>
- Albatayneh, A., Albadaineh, R., Juaidi, A., Abdallah, R., Zabalo, A., y Manzano-Agugliaro, F. (2022). Enhancing the Energy Efficiency of Buildings by Shading with PV Panels in Semi-Arid Climate Zone. *Sustainability*, 14(24), 17040. <https://doi.org/10.3390/su142417040>
- Ali Yildirim, M., Bartzzel, F., Vallati, A., Woźniak, M. K., y Octorń, P. (2023). Efficient energy storage in residential buildings integrated with RESHeat system. *Applied Energy*, 335, 120752. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120752>
- Alqahtani, N., y Balta-Ozkan, N. (2021). Assessment of rooftop solar power generation to meet residential loads in the city of neom, Saudi Arabia. *Energies*, 14(13), 3805. <https://doi.org/10.3390/en14133805>
- Alrashed, F., y Asif, M. (2014). Trends in Residential Energy Consumption in Saudi Arabia with Particular Reference to the Eastern Province. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 2(4), 376–387. <https://doi.org/10.13044/j.sdwes.2014.02.0030>
- Aria, M., y Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bakthavatchalam, B., Habib, K., Saidur, R., y Saha, B. B. (2022). Cooling performance analysis of nanofluid assisted novel photovoltaic thermoelectric air conditioner for energy efficient buildings. *Applied Thermal Engineering*, 213, 118691. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118691>
- Bandaru, S., Becerra, V., Khanna, S., Radulovic, J., Hutchinson, D., y Khusainov, R. (2021). A Review of Photovoltaic Thermal (PVT) Technology for Residential Applications: Performance Indicators, Progress, and Opportunities. *Energies*, 14(13), 3853. <https://doi.org/10.3390/en14133853>
- Bayer, D. R., y Pruckner, M. (2024). Data-driven heat pump retrofit analysis in residential buildings: Carbon emission reductions and economic viability. *Applied Energy*, 373, 123823. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123823>
- Behzadi, A., Alirahmi, S. M., Yu, H., y Sadrizadeh, S. (2023). An efficient renewable hybridization based on hydrogen storage for peak demand reduction: A rule-based energy control and optimization using machine learning techniques. *Journal of Energy Storage*, 57, 106168. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106168>
- Burnham, J. F. (2006). Scopus database: A review. *Biomedical Digital Libraries*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>
- Calise, F., Figaj, R. D., y Vanoli, L. (2017). A novel polygeneration system integrating photovoltaic/thermal collectors, solar assisted heat pump, adsorption chiller and electrical energy storage: Dynamic and energy-economic analysis. *Energy Conversion and Management*, 149, 798–814. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.027>
- Cerezo-Narváez, A., Piñero-Vilela, J.-M., Rodríguez-Jara, E.-Á., Otero-Mateo, M., Pastor-Fernández, A., y Ballesteros-Pérez, P. (2021). Energy, emissions and economic impact of the new nZEB regulatory framework on residential buildings renovation: Case study in southern Spain. *Journal of Building Engineering*, 42, 103054. <https://doi.org/10.1016/j.jobr.2021.103054>
- Cillari, G., Franco, A., y Fantozzi, F. (2021). Sizing strategies of photovoltaic systems in nZEB schemes to maximize the self-consumption share. *Energy Reports*, 7, 6769–6785. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.117>
- Constantinides, A., Katafygiotou, M., Dimopoulos, T., y Kapellakis, I. (2024). Retrofitting of an Existing Cultural Hall into a Net-Zero Energy Building. *Energies*, 17(7), 1602. <https://doi.org/10.3390/en17071602>
- D'Agostino, D., Parker, D., Melià, P., y Dotelli, G. (2022). Optimizing photovoltaic electric generation and roof insulation in existing residential buildings. *Energy and Buildings*, 255, 111652. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111652>
- De Soto, W., Klein, S. A., y Beckman, W. A. (2006). Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. *Solar Energy*, 80(1), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.010>
- Fina, B., Roberts, M. B., Auer, H., Bruce, A., y MacGill, I. (2021). Exogenous influences on deployment and profitability of photovoltaics for self-consumption in multi-apartment buildings in Australia and Austria. *Applied Energy*, 283, 116309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116309>
- Forrouso, S., Idrissi Kaitouni, S., Mana, A., Wakil, M., Jamil, A., Brigu, J., y Azzouzi, H. (2024). Optimal sizing of off-grid microgrid building-integrated-photovoltaic system with battery for a net zero energy residential building in different climates of Morocco. *Results in Engineering*, 22, 102288. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102288>
- Gallego-Castillo, C., Heleno, M., y Victoria, M. (2021). Self-consumption for energy communities in Spain: A regional analysis under the new legal framework. *Energy Policy*, 150, 112144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112144>
- Gamaleldine, M., y Corvacho, H. (2022). Compliance with Building Energy Code for the Residential Sector in Egyptian Hot-Arid Climate: Potential Impact, Difficulties, and Further Improvements. *Sustainability*, 14(7), 3936. <https://doi.org/10.3390/su14073936>
- García-Gáfaro, C., Escudero-Revilla, C., Flores-Abascal, I., Hidalgo-Betanzos, J. M., y Erkoreka-González, A. (2022). A photovoltaic forced ventilated façade (PV-FVF) as heat source for a heat pump: Assessing its energetical profit in nZEB buildings. *Energy and Buildings*, 261, 111979. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111979>
- Hamed Banirazi Motlagh, S., Amin Hosseini, S. M., y Pons-Valladares, O. (2023). Integrated value model for sustainability assessment of residential solar energy systems towards minimizing urban air pollution in Tehran. *Solar Energy*, 249, 40–66. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.10.047>
- Heinz, A., y Rieberer, R. (2021). Energetic and economic analysis of a PV-assisted air-to-water heat pump system for renovated residential buildings with high-temperature heat emission system. *Applied Energy*, 293, 116953. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116953>
- Herrando, M., Coca-Ortegón, A., Guedea, I., y Fueyo, N. (2023). Experimental validation of a solar system based on hybrid photovoltaic-thermal collectors and a reversible heat pump for the energy provision in non-residential buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113233. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113233>
- Hu, X., Xiang, Y., Zhang, H., Lin, Q., Wang, W., y Wang, H. (2021). Active–passive combined energy-efficient retrofit of rural residence with non-benchmarked construction: A case study in Shandong province, China. *Energy Reports*, 7, 1360–1373. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.02.045>
- Johari, F., Lindberg, O., Ramadhan, U. H., Shadram, F., Munkhammar, J., y Widén, J. (2024). Analysis of large-scale energy retrofit of residential buildings and their impact on the electricity grid using a validated UBEM. *Applied Energy*, 361, 122937. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122937>
- Liu, J., Chen, X., Yang, H., y Shan, K. (2021a). Hybrid renewable energy applications in zero-energy buildings and communities integrating battery and hydrogen vehicle storage. *Applied Energy*, 290, 116733. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116733>

- Liu, J., Yang, H., y Zhou, Y. (2021b). Peer-to-peer energy trading of net-zero energy communities with renewable energy systems integrating hydrogen vehicle storage. *Applied Energy*, 298, 117206. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117206>
- Maghrabie, H. M., Elsaied, K., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., y Olabi, A. G. (2021). Building-integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) systems: Applications and challenges. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101151. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101151>
- Mascherbauer, P., Kranzl, L., Yu, S., y Haupt, T. (2022). Investigating the impact of smart energy management system on the residential electricity consumption in Austria. *Energy*, 249, 123665. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123665>
- Masip, X., Fuster-Palop, E., Prades-Gil, C., Viana-Fons, J. D., Payá, J., y Navarro-Peris, E. (2023). Case study of electric and DHW energy communities in a Mediterranean district. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178, 113234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113234>
- Monna, S., Abdallah, R., Juaidi, A., Albatayneh, A., Zapata-Sierra, A. J., y Manzano-Agugliaro, F. (2022). Potential Electricity Production by Installing Photovoltaic Systems on the Rooftops of Residential Buildings in Jordan: An Approach to Climate Change Mitigation. *Energies*, 15(2), 496. <https://doi.org/10.3390/en15020496>
- Mustafa, J., Almehmedi, F. A., Alqaed, S., y Sharifpur, M. (2022). Building a Sustainable Energy Community: Design and Integrate Variable Renewable Energy Systems for Rural Communities. *Sustainability*, 14(21), 13792. <https://doi.org/10.3390/su142113792>
- Nematchoua, M. K., Marie-Reine Nishimwe, A., y Reiter, S. (2021). Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110198>
- Neves, R., Cho, H., y Zhang, J. (2021). Pairing geothermal technology and solar photovoltaics for net-zero energy homes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110749. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110749>
- Nordgård-Hansen, E., Kishor, N., Midttømme, K., Risinggård, V. K., y Kocbach, J. (2022). Case study on optimal design and operation of detached house energy system: Solar, battery, and ground source heat pump. *Applied Energy*, 308, 118370. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118370>
- Nykyri, M., Kärkkäinen, T. J., Levikari, S., Honkapuro, S., Annala, S., y Silventoinen, P. (2022). Blockchain-based balance settlement ledger for energy communities in open electricity markets. *Energy*, 253, 124180. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124180>
- Ollas, P., Thiringer, T., y Persson, M. (2024). Enhanced DC Building Distribution Performance Using a Modular Grid-Tied Converter Design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17(13), 3105. <https://doi.org/10.3390/en17133105>
- Padovani, F., Sommerfeldt, N., Longobardi, F., y Pearce, J. M. (2021). Decarbonizing rural residential buildings in cold climates: A techno-economic analysis of heating electrification. *Energy and Buildings*, 250, 111284. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111284>
- Psimopoulos, E., Bee, E., Widén, J., y Bales, C. (2019). Techno-economic analysis of control algorithms for an exhaust air heat pump system for detached houses coupled to a photovoltaic system. *Applied Energy*, 249, 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.080>
- Ramadhan, U. H., Johari, F., Lindberg, O., Munkhammar, J., y Widén, J. (2024). A city-level assessment of residential PV hosting capacity for low-voltage distribution systems considering rooftop data and uncertainties. *Applied Energy*, 371, 123715. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123715>
- Rinaldi, A., Soini, M. C., Streicher, K., Patel, M. K., y Parra, D. (2021). Decarbonising heat with optimal PV and storage investments: A detailed sector coupling modelling framework with flexible heat pump operation. *Applied Energy*, 282, 116110. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116110>
- Sadeghibakhtiar, E., Naeimi, A., Naderi, S., Pignatta, G., y Behbahaninia, A. (2024). Size optimization of a stand-alone solar-wind-battery hybrid system for net zero energy buildings: A case study. *Energy and Buildings*, 313, 114204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114204>
- Salpakari, J., y Lund, P. (2016). Optimal and rule-based control strategies for energy flexibility in buildings with PV. *Applied Energy*, 161, 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.036>
- Sarker, M., Haram, M., Ramasamy, G., Farid, F., y Mansor, S. (2023). Solar Photovoltaic Home Systems in Malaysia: A Comprehensive Review and Analysis. *Energies*, 16(23), 7718. <https://doi.org/10.3390/en16237718>
- Sartori, I., Napolitano, A., y Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>
- Shabbir, N., Kutt, L., Astapov, V., Jawad, M., Allik, A., y Husev, O. (2022). Battery Size Optimization with Customer PV Installations and Domestic Load Profile. *IEEE Access*, 10, 13012–13025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3147977>
- Sohani, A., Cornaro, C., Shahverdian, M. H., Moser, D., Pierro, M., Olabi, A. G., Karimi, N., Nižetić, S., Li, L. K. B., y Doranegard, M. H. (2023). Techno-economic evaluation of a hybrid photovoltaic system with hot/cold water storage for poly-generation in a residential building. *Applied Energy*, 331, 120391. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120391>
- Soomar, A., Hakeem, A., Messaoudi, M., Musznicki, P., Iqbal, A., y Czapp, S. (2022). Solar Photovoltaic Energy Optimization and Challenges. *Frontiers in Energy Research*, 10, 879985. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.879985>
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., y Alkasrawi, M. (2020). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143528. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- Vahabi Khah, M., Zahedi, R., Eskandarpour, R., Mirzaei, A. M., Farahani, O. N., Malek, I., y Rezaei, N. (2023). Optimal sizing of residential photovoltaic and battery system connected to the power grid based on the cost of energy and peak load. *Heliyon*, 9(3), e14414. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14414>
- Wu, H., Deng, F., y Tan, H. (2022). Research on parametric design method of solar photovoltaic utilization potential of nearly zero-energy high-rise residential building based on genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133169. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133169>
- Xue, Y., Lindkvist, C. M., y Temeljotov-Salaj, A. (2021). Barriers and potential solutions to the diffusion of solar photovoltaics from the public-private-people partnership perspective – Case study of Norway. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110636>
- Zaboli, A., Kasimalla, S. R., Park, K., Hong, Y., y Hong, J. (2024). A Comprehensive Review of Behind-the-Meter Distributed Energy Resources Load Forecasting: Models, Challenges, and Emerging Technologies. *Energies*, 17(11), 2534. <https://doi.org/10.3390/en17112534>
- Zupic, I., y Ćater, T. (2014). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>