

**FACTORES DE INSOSTENIBILIDAD DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA,
UNA REVISIÓN DE LITERATURA EN LA BASE DE DATOS SCOPUS ENTRE
LOS AÑOS 2013 Y 2023**

CARLOS ANDRES SAENZ CORTES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES
PROGRAMA DE CONTADURIA PÚBLICA
BOGOTÁ D.C.

2023

**FACTORES DE INSOSTENIBILIDAD DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA,
UNA REVISIÓN DE LITERATURA EN LA BASE DE DATOS SCOPUS ENTRE
LOS AÑOS 2013 Y 2023**

CARLOS ANDRÉS SÁENZ CORTES

Monografía

Para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Director

Juan Carlos Ruiz Urquijo

Contador Público

MG Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES
PROGRAMA DE CONTADURIA PÚBLICA
BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, Septiembre 3 de 2023

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a mi familia, en especial a mis padres, Gilberto y Nelly, quienes quizá habían perdido la esperanza de verme con el título de Ingeniero Mecatrónico. Después de 10 años de haber concluido materias, no había logrado conseguirlo debido a diversos factores, como el trabajo, planes y proyectos personales. Su apoyo inquebrantable y su fe en mí fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Por otro lado, dedico la culminación de este documento a mi esposa, Ara. Su presencia y su amor fueron determinantes para que lograra cumplir este objetivo. En ningún momento me presionó, pero siempre me motivó diciendo que yo era capaz de finalizar lo que había iniciado. Su amor y apoyo incondicional han sido mi fuente de fortaleza a lo largo de este camino.

A todos ustedes, mi familia y mi esposa, les dedico este logro con profundo agradecimiento. Sin su amor, apoyo y creencia en mí, este logro no habría sido posible. Gracias por estar siempre a mi lado

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han contribuido de manera significativa a la realización de esta monografía. Sus esfuerzos y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada etapa de este proyecto.

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento al profesor y tutor de este documento, Juan Carlos Urquijo, quien me ha acompañado a lo largo de este año con su orientación experta, realmente es un profesional y un motivador excepcional.

También deseo expresar mi gratitud a los profesores cuyos conocimientos y enseñanzas sentaron las bases para este trabajo en el marco del curso de profundización y actualización en 'Sostenibilidad Empresarial, Sociedades BIC y Reportes No Financieros'.

Además, quiero reconocer el apoyo de mi familia, y en especial, mi esposa. Su amor, comprensión y aliento inquebrantables me han dado la fuerza necesaria para superar los desafíos que surgieron en el camino.

Finalmente, me gustaría expresar mi agradecimiento a la Fundación Universitaria Agraria de Colombia por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación, y al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, entidad en la cual he trabajado durante varios años. Gracias a su respaldo y a los beneficios destinados a los funcionarios, este proyecto se ha hecho realidad

Este trabajo no habría sido posible sin la contribución de todos ustedes. Su apoyo ha sido invaluable y aprecio profundamente cada gesto de aliento y colaboración. Gracias por creer en mí y en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE ILUSTRACIONES	7
CONTENIDO DE TABLAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
2. MARCO TEORICO	16
3. DISEÑO METODOLOGÍCO	21
4. RESULTADOS Y DISCUSION	32
4.1. RESULTADO 1 - Estado del arte 2013 a 2023	32
4.2. RESULTADO 2 – Perspectivas teóricas en el campo de investigación.	40
5. CONCLUSIONES	45
6. BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS.	50

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Generación de electricidad según fuente	15
Ilustración 2. Análisis cuantitativo de palabras clave	25
Ilustración 3. Principales palabras según clúster	26
Ilustración 4. Metodología prisma	33
Ilustración 5. Numero de publicaciones por año	34
Ilustración 6. Numero de documentos publicados por año	35
Ilustración 7. CiteScore de las 5 revistas con mayores publicaciones	36
Ilustración 8. 10 países con mayor número de publicaciones	37
Ilustración 9. Autores más relevantes	38
Ilustración 10. Correlación de autores más relevantes.	39
Ilustración 11. Análisis cuantitativo de palabras clave,	40

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo – sostenibilidad débil vs sostenibilidad fuerte	20
Tabla 2. Algoritmos de búsqueda	22
Tabla 3. Categorización de palabras clave	24
Tabla 4. Combinación de palabras clave	25
Tabla 5. consultas realizadas	26
Tabla 6. Documentos seleccionados	26
Tabla 7. Revistas más relevantes.	33
Tabla 8. Palabras clave por clúster	38
Tabla 9. Concepto de sostenibilidad aplicado a documentos de estudio	42

RESUMEN

La energía fotovoltaica ha surgido como una alternativa prometedora para reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles y mejorar la resiliencia energética en nuestras comunidades. En este contexto, se presenta la necesidad apremiante de evaluar la sostenibilidad de la energía fotovoltaica, identificando posibles factores de insostenibilidad para prevenir impactos negativos. Este trabajo se enfoca en una revisión exhaustiva de la literatura científica en la base de datos Scopus, abarcando el período entre 2013 y 2023. El objetivo central de esta revisión es explorar la relación entre la energía fotovoltaica y los factores que pueden poner en riesgo su sostenibilidad, al tiempo que se busca identificar los enfoques teóricos y los estudios más destacados presentados en los documentos seleccionados. La metodología empleada fue mixta e incluyó la revisión de artículos científicos, junto con el desarrollo de un análisis cuantitativo destinado a identificar tendencias y perspectivas en este campo de estudio. Los resultados obtenidos indican que la energía fotovoltaica posee un potencial considerable en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante su uso, el incremento de oportunidades para las comunidades rurales y la descentralización de la energía. Sin embargo, también revelan que esta fuente de energía podría generar impactos negativos aún más significativos en la sociedad, especialmente si no se abordan adecuadamente los aspectos relacionados con la sostenibilidad en todas las fases del ciclo de vida de los proyectos. En conclusión, se subraya la imperativa necesidad de considerar de manera integral todos los aspectos relevantes de la energía fotovoltaica, con el propósito de lograr una implementación más responsable y sostenible de estos proyectos.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, Sostenibilidad, Impacto ambiental, Participación comunitaria, Prácticas sostenibles, Energías renovables, Impacto social, Transición energética, Ciclo de vida.

Photovoltaic energy has emerged as a promising alternative to reduce our dependency on fossil fuels and enhance energy resilience in our communities. In this context, there is an urgent need to assess the sustainability of photovoltaic energy by identifying potential sources of unsustainability to preempt negative impacts. This work focuses on an exhaustive review of scientific literature in the Scopus database, spanning the period from 2013 to 2023. The central objective of this review is to explore the relationship between photovoltaic energy and the factors that may jeopardize its sustainability while seeking to identify the theoretical approaches and prominent studies presented in the selected documents. The methodology employed was mixed, encompassing the review of scientific articles, coupled with the development of scientometric analysis aimed at identifying trends and perspectives in this field of study. The results indicate that photovoltaic energy holds substantial potential in terms of reducing greenhouse gas emissions during its use, increasing opportunities for rural communities, and decentralizing energy production. However, they also reveal that this energy source could generate even more significant negative impacts on society if aspects related to sustainability in all phases of project lifecycle are not adequately addressed. In conclusion, it underscores the imperative need to comprehensively consider all relevant aspects of photovoltaic energy to achieve a more responsible and sustainable implementation of these projects

Keywords: Photovoltaic energy, Sustainability, Environmental impact, Community participation, Sustainable practices, Renewable energies, Social impact, Energy transition, Lifecycle

1. INTRODUCCIÓN

La energía es un recurso esencial que impulsa nuestra sociedad, se extiende desde las tareas cotidianas hasta el funcionamiento crucial de las corporaciones. La disponibilidad de energía es, por lo tanto, esencial para mantener nuestra autonomía y un funcionamiento eficiente en nuestras vidas. Este hecho nos lleva a buscar constantemente fuentes de energía más limpias, conscientes de la necesidad de reducir la contaminación. Durante los siglos XX y XXI, las principales fuentes de energía se han centrado principalmente en la combustión de combustibles fósiles, como el carbón, la energía nuclear y la biomasa. En este contexto, surge la imperante necesidad de reflexionar sobre la producción y el consumo de energía. A lo largo de su ciclo de vida, desde la producción hasta la disposición final, la energía eléctrica genera considerables impactos tanto medioambientales como sociales. Estos impactos, en una época caracterizada por una creciente conciencia medioambiental y preocupación por el cambio climático, plantean desafíos significativos para la sostenibilidad a nivel global.

En respuesta a esta creciente preocupación, las fuentes de energía renovable y limpia, incluyendo la energía fotovoltaica, han experimentado un rápido crecimiento y adopción en las últimas décadas. La energía fotovoltaica ofrece la promesa de generar electricidad de manera más limpia y sostenible, lo que puede contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, en este contexto de transición hacia fuentes de energía más sostenibles, surgen interrogantes fundamentales sobre la verdadera sostenibilidad de la energía fotovoltaica, abordando su impacto medioambiental y social, así como su contribución efectiva a la mitigación del cambio climático y a la promoción de una sociedad verdaderamente sostenible.

Con el fin de abordar estas preguntas y arrojar luz sobre la sostenibilidad de la energía fotovoltaica, este trabajo se propone realizar un análisis exhaustivo de la literatura científica. Utilizando la base de datos Scopus como principal fuente de información, se llevará a cabo un examen detenido de las investigaciones publicadas en el período comprendido entre 2013 y 2023. A través de esta revisión bibliográfica, se busca explorar la relación existente entre la energía fotovoltaica y los factores que la vuelven insostenible, al mismo tiempo que identificar la situación actual de la investigación científica sobre este tema, así como los enfoques teóricos y los estudios más destacados presentados en los documentos seleccionados.

Este momento es crítico en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, y la evaluación de la sostenibilidad de la energía fotovoltaica se vuelve esencial. En este contexto, se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el estado actual de la investigación científica en relación con la energía fotovoltaica y sus vínculos con factores insostenibles durante el período 2013-2023? ¿Qué enfoques

teóricos y tendencias emergen de los estudios científicos relacionados con la energía fotovoltaica y su sostenibilidad?

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

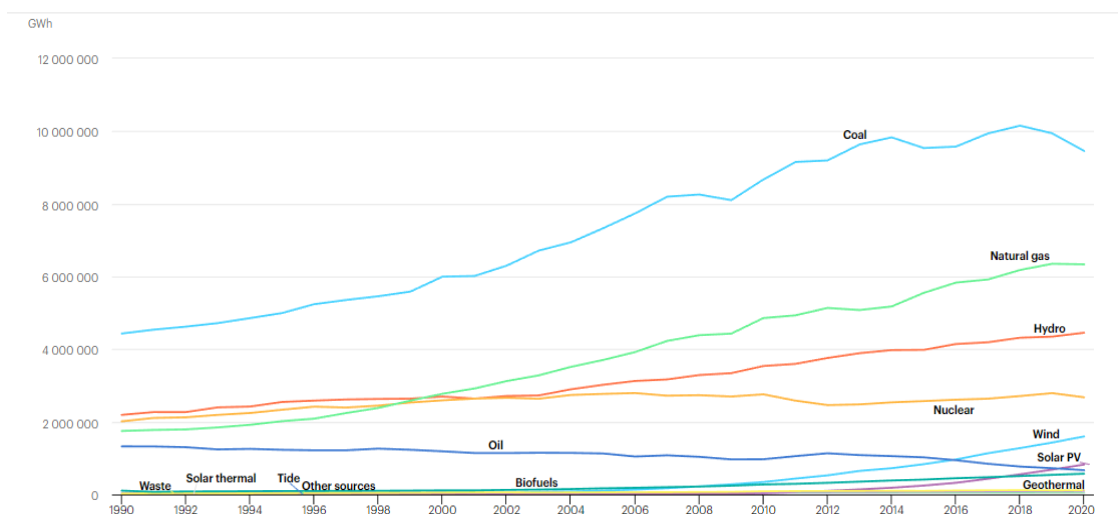
La energía eléctrica es un recurso importante para el ser humano hoy, su uso es necesario para el desarrollo económico y social de las comunidades. La electricidad es imprescindible para llevar a cabo actividades cotidianas, como iluminar las casas, cocinar, trabajar, operar equipos médicos, y mantener en funcionamiento los sistemas de transporte y comunicación, entre otras. (International Energy Agency, 2023)

Es así como el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNPD) (United Nations Development Programme, 2019), señala que el desarrollo humano ha mejorado a nivel mundial en las últimas décadas, aunque persisten grandes desigualdades en términos de ingresos, educación y acceso a servicios básicos, incluyendo la energía. Se destaca que más de 1.000 millones de personas en el mundo todavía carecen de acceso a la electricidad y 2.800 millones de personas dependen de la biomasa (combustión de materia orgánica) para la generación de la misma (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018), otro método para obtener energía es a través del carbón para cocinar y dar calefacción en los hogares, lo que tiene graves consecuencias para la salud y el medio ambiente como por ejemplo enfermedades respiratorias y daño en los ecosistemas (World Health Organization et al., 2023). El informe plantea que para alcanzar el desarrollo humano sostenible es necesario promover el acceso universal y equitativo a servicios básicos (agua potable, saneamiento, transporte y telecomunicaciones.), incluyendo la energía, a través de políticas públicas efectivas y enfoques innovadores (United Nations Development Programme, 2019).

Como referencia, la salud es un componente fundamental en el bienestar y desarrollo humano, la energía limpia es importante porque afecta positivamente a la salud de las personas, y toma como referencia el informe de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y el Banco Mundial. La exposición a la contaminación del aire causada por la quema de combustibles fósiles para generar energía, como el carbón y el petróleo, puede provocar enfermedades respiratorias, cardíacas, cerebrovasculares y cáncer, entre otras. (World Health Organization et al., 2023).

La creciente demanda de energía eléctrica a nivel mundial (Ilustración 1) muestra cómo la producción de energía de fuentes clásicas como el carbón y el gas han disminuido mientras que energías renovables como la solar y la eólica han iniciado tendencia al aumento. Cada una de estas fuentes tiene sus ventajas y desventajas en términos de costo, eficiencia, impacto ambiental, y sostenibilidad a largo plazo.

Ilustración 1. Generación de electricidad según fuente



Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2022

En el año 2021, la Agencia Internacional de Energía (IEA) realizó la revisión denominada “Global Energy Review 2021”, donde se evidenció que la pandemia de COVID-19 provocó una disminución del 4% en la demanda global de energía en 2020, la mayor caída desde la Segunda Guerra Mundial. La demanda de energías convencionales, como el petróleo, el gas y el carbón, se redujo en un 8% a nivel mundial, mientras que la participación de las energías renovables aumentó en un 3% en comparación con 2019 (Energy Agency International, 2021). En cuanto a generación de electricidad, la energía renovable fue la única fuente de energía que creció en 2020, con un aumento del 7 % respecto al año anterior, evidenciando que la tendencia de uso de las energías renovables es creciente.

Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), la capacidad instalada global de energía fotovoltaica ha aumentado de 137 GW (Ilustración 1) en 2013 a 773 GW en 2020. Además, se espera que esta tendencia continúe en el futuro cercano, con un pronóstico de crecimiento anual promedio del 10% hasta 2025 (International Energy Agency, 2023)

Adicional a las consecuencias que trajo en este campo el COVID 19, se suma la creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Energy Agency International, 2021), aunado a lo descrito, en la cumbre de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible en New York 2015 se evaluaron los objetivos del milenio y se reestructuraron en los Objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS) convirtiéndose en una guía fundamental para el desarrollo sostenible a nivel mundial proyectados a 2030 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018). De los 17 ODS, hay que resaltar que el objetivo 7 está relacionado con la energía asequible y no contaminante, por lo que debe ser confiable, sostenible y moderna para todos; se deben considerar todas las aristas para una implementación confiable y contemplar sus consecuencias negativas.

Lo anterior ha generado que la energía fotovoltaica haya ganado popularidad como una solución que fomenta la participación ciudadana y la descentralización de la energía, mejorando potencialmente la sostenibilidad energética de la sociedad (National Renewable Energy Laboratory, 2014). No obstante, estos proyectos también pueden tener impactos negativos significativos en varios aspectos. Actualmente, no se tiene una comprensión clara de los factores de insostenibilidad, lo que implica la necesidad de identificar y analizar estos factores para lograr una implementación más responsable y sostenible de estos proyectos.

Estos factores pueden incluir la falta de participación comunitaria, la insuficiente consideración de la biodiversidad y los ecosistemas locales, la falta de medidas adecuadas de seguridad y salud, la insuficiente consideración de las prácticas culturales y las relaciones de poder, la vida útil de los paneles y su disposición final entre otros. Además, es importante proponer soluciones para maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos, lo que puede incluir la implementación de prácticas sostenibles y la inclusión de enfoques participativos en el diseño y la implementación de los proyectos.

Se ha llevado a cabo una investigación previa que ha examinado la interacción entre la energía fotovoltaica y la sostenibilidad, focalizándose en diversos ámbitos tales como la evaluación de su impacto ambiental, los aspectos sociales y comunitarios, así como las políticas y regulaciones, con el propósito de aprovechar las ventajas potenciales que este tipo de energía presenta. No obstante, hasta el momento, no se ha encontrado un estudio exhaustivo que analice de manera integral los aspectos negativos o las limitaciones que podrían afectar la sostenibilidad de la energía fotovoltaica. Esta carencia insinúa que, pese a los esfuerzos investigativos y las publicaciones que han explorado la conexión entre estos dos campos, aún existe una carencia de una perspectiva global que integre todos estos elementos de manera cohesiva y establezca una relación más precisa entre ellos.

Por las razones anteriormente expuestas se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los factores de insostenibilidad más destacados asociados con la energía fotovoltaica, según la investigación académica publicada en la base de datos Scopus entre los años 2013 y 2023, y cuáles son las tendencias y patrones emergentes en la literatura académica que abordan estos factores?

1.2.JUSTIFICACIÓN

La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles es fundamental para asegurar un futuro habitable para las próximas generaciones, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En esta línea, la energía fotovoltaica ha emergido como una solución prometedora para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y fortalecer la resiliencia energética en las comunidades, ya que su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero es menor y es completamente renovable en comparación con otras alternativas (Cepeda & Sierra, 2007). Además, los proyectos de energía fotovoltaica pueden generar beneficios tangibles para las comunidades, como la creación de empleos, la reducción de costos energéticos y el fomento de la participación ciudadana en las decisiones relacionadas con la energía.

Es necesario considerar que los proyectos de energía fotovoltaica también pueden generar impactos negativos significativos en la sociedad, especialmente si no se abordan adecuadamente los aspectos de sostenibilidad. Por ejemplo, la fabricación de paneles solares puede generar residuos tóxicos al final de su vida útil y requerir cantidades considerables de agua y energía (Malandrino et al., 2017). Además, la ubicación inapropiada de los proyectos puede generar conflictos con las comunidades locales y tener efectos adversos sobre la calidad de vida de las personas y la biodiversidad local (Bakhiyi et al., 2014). Dado que la energía fotovoltaica se presenta como una solución a diversos problemas, es igualmente esencial reconocer, a través de la literatura, los posibles desafíos que podrían surgir durante su implementación para así prever y mitigar a largo plazo problemas de sostenibilidad.

Por lo tanto, resulta fundamental llevar a cabo una revisión crítica de la literatura existente con el propósito de comprender el estado actual del conocimiento y las teorías en este campo, identificar posibles lagunas, controversias y brechas, así como examinar las metodologías y técnicas utilizadas en investigaciones anteriores (Codina, 2022; Martinovich, 2022). Además, es crucial explorar las fuentes primordiales de datos y recursos de información relevantes para el tema, destacando las contribuciones de los principales autores y expertos en la materia, y también detectar posibles limitaciones y sesgos en la literatura ya existente.

Esta investigación busca comprender los factores de insostenibilidad asociados con los proyectos de energía fotovoltaica, evaluar su impacto en la sociedad y proponer soluciones para reducir los efectos negativos y maximizar los beneficios. Esta revisión de literatura puede proporcionar conocimientos valiosos, especialmente en relación con los factores de insostenibilidad, para los tomadores de decisiones, los desarrolladores de proyectos, las comunidades locales y otras partes interesadas en el ámbito de la energía fotovoltaica. Asimismo, esta investigación puede contribuir a informar la formulación de políticas y prácticas más sostenibles en el futuro.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión de literatura utilizando la base de datos SCOPUS entre el año 2013 y 2023 para analizar la relación entre la energía fotovoltaica y los factores de insostenibilidad.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar el estado del arte relacionando la energía fotovoltaica y los elementos que influyen en la sostenibilidad en el período comprendido entre 2013 y 2023, utilizando la base de datos SCOPUS como fuente de información.
- Identificar los enfoques teóricos y las investigaciones destacadas presentes en los documentos seleccionados para este análisis de literatura.

2. MARCO TEORICO

Energía fotovoltaica:

La energía fotovoltaica es una tecnología que utiliza células solares para convertir la luz solar directamente en electricidad. Cuando la luz solar incide sobre una célula solar, los fotones de la luz excitan los electrones en el material semiconductor, creando una corriente eléctrica (Villalva, Marcelo Gradella; Gazoli, 2012). El proceso de generación de energía fotovoltaica se basa en la agrupación de estas células para crear paneles solares, que luego se conectan a circuitos para distribuir la energía (de Kuyper, 2018).

Las células solares fotovoltaicas están compuestas de diferentes materiales, siendo los más comunes el silicio cristalino y el silicio amorfo. Los avances tecnológicos en la fabricación de células solares han permitido una mayor eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad, así como una reducción en los costos de producción (Fundamentals of Solar Cell Design, s. f.). Al diseñar un sistema solar fotovoltaico, es importante seleccionar los componentes adecuados, como paneles solares, inversores y baterías. También se deben considerar las condiciones ambientales locales, como la radiación solar, la temperatura y la humedad. Además, es necesario analizar los costos de los componentes del sistema, los costos de instalación, los costos operativos, así como los beneficios financieros, los incentivos fiscales y las tarifas de alimentación (Messenger & Abtahi, 2018).

Existen dos tipos principales de sistemas fotovoltaicos terrestres: los conectados a la red y los autónomos. Los sistemas conectados a la red son los más comunes y exportan la energía generada a la red eléctrica, mientras que los sistemas autónomos operan de manera independiente utilizando almacenamiento en baterías sin estar conectados a la red (Perpiñán Lamigueiro, 2011). La elección del sistema adecuado depende de las

necesidades y condiciones específicas del proyecto, lo que resultará en impactos diferentes. Los sistemas autónomos proporcionan electricidad en lugares de difícil acceso donde no hay infraestructura eléctrica disponible, y esta energía se destina principalmente al autoconsumo. Por otro lado, los sistemas conectados a la red vierten su energía producida a la red eléctrica y el propietario sigue comprando la consumida mientras vende la generada.

En la actualidad, los proyectos de energía fotovoltaica han adquirido una importancia significativa en la sociedad (Wüstenhagen et al., 2007), ya que otorgan a las comunidades la capacidad de ejercer control sobre la generación y el consumo de energía. Esto, a su vez, conlleva a una reducción de la dependencia exclusiva de los proveedores estatales.

La participación de los ciudadanos en la planificación y el diseño de iniciativas de energías renovables puede desempeñar un papel crucial en la disminución de la resistencia y el fomento del respaldo público hacia los proyectos. Al obtener un entendimiento más profundo de los beneficios derivados de su utilización, se logra cultivar un mayor apoyo hacia estas iniciativas.

Sostenibilidad:

El concepto de sostenibilidad ha evolucionado a lo largo del tiempo en respuesta a cambios sociales, económicos y ambientales. A continuación, se presenta un resumen de dicho concepto:

- ***Orígenes en la Conservación y el Ecologismo (Siglos XIX e inicios del XX):*** El concepto de sostenibilidad tiene sus raíces en los movimientos de conservación y ecologismo de dicho periodo. Autores como George Perkins Marsh y Aldo Leopold contribuyeron de manera significativa al desarrollo de la conciencia sobre la importancia de cuidar el medio ambiente y considerar las interacciones entre los seres humanos y la naturaleza. Ambos autores escribieron obras que ejercieron una profunda influencia en el pensamiento ambiental. En 1864, Marsh publicó "Man and Nature", fue uno de los primeros libros en explorar exhaustivamente la relación entre la humanidad y el entorno natural (Wenhua & Yuan, 2022) indica que se debe instar a la humanidad a tomar decisiones éticas después de considerar cuidadosamente las consecuencias de nuestras acciones, en lugar de actuar solo por instinto. Por su parte, Leopold es ampliamente conocido por su obra "A Sand County Almanac", publicada en 1949, que presentó ideas pioneras sobre la ética ambiental y la relación entre el ser humano y la naturaleza (F. et al., 1950) proporciona detalladas observaciones de la naturaleza y también trata temas filosóficos relacionados con la preservación de la vida silvestre. Estas obras jugaron un papel fundamental en el establecimiento de una base filosófica y ética para la conservación de la naturaleza y la promoción de la sostenibilidad.

- ***Desarrollo Económico y Ambiental (Década de 1960)***: La noción de sostenibilidad comenzó a incluir consideraciones económicas. A medida que la industrialización avanzaba, surgió la preocupación por los impactos ambientales del crecimiento económico no regulado. Se introdujo el concepto de desarrollo sostenible, que buscaba equilibrar el progreso económico con la preservación del medio ambiente.
- ***Informe Brundtland y Desarrollo Sostenible (1987)***: El Informe Brundtland, también conocido como "Nuestro Futuro Común", marcó un punto crucial en la evolución del concepto de sostenibilidad. Fue publicado en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas, y desempeñó un papel fundamental en la popularización del concepto de desarrollo sostenible. Este informe representó un documento de importancia vital que analizó en profundidad las cuestiones críticas relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo, ofreció propuestas concretas y realistas para abordar estas problemáticas, y presentó cambios de gran alcance destinados a implementar estas propuestas tanto a nivel nacional como internacional. Además, introdujo la dimensión social en la concepción de la sostenibilidad (Keeble, 1988).
- ***Triple Bottom Line (TBL), (2000s)***: El término "Triple Bottom Line" (TBL), acuñado por John Elkington en 1994, también conocido como "Triple Resultado" o "Triple Balance", propone una perspectiva integral para las empresas. Elkington, un autor y consultor británico en sostenibilidad, presentó este concepto en su libro "Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business". Su objetivo era que las empresas consideraran no solo las ganancias económicas, sino también los efectos sociales y ambientales de sus operaciones (Elkington, 2017). El TBL aboga por evaluar el éxito y el rendimiento empresarial en tres dimensiones clave: económica, social y ambiental, en contraposición al enfoque tradicional centrado solo en los beneficios financieros. Esta perspectiva ha influido en la sostenibilidad empresarial al motivar a las organizaciones a medir y comunicar sus impactos en estas áreas, aumentando la conciencia sobre la necesidad de equilibrar aspectos económicos, sociales y ambientales en la toma de decisiones y evaluación de desempeño.
- ***Enfoque en los ODS (2010s en adelante)***: Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por las Naciones Unidas en 2015 marcaron otro hito importante en la evolución del concepto de sostenibilidad. Según (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018) establecen una agenda global que aborda desafíos como la pobreza, el hambre, la igualdad de género, la energía limpia y la acción climática. Esto resalta la necesidad de abordar de manera integral los problemas sociales, económicos y ambientales para lograr un futuro sostenible.
- ***Enfoque Regenerativo o Circular***: En la actualidad, el concepto de sostenibilidad está evolucionando hacia enfoques más regenerativos y circulares. Estos enfoques buscan no solo mantener los sistemas, sino también restaurar y regenerar los recursos naturales y los sistemas ecológicos. Autores como William McDonough y Michael Braungart, en su libro "Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things" (Cuna a cuna: rehaciendo la forma en que hacemos las cosas), propusieron

la creación de productos y sistemas que sean regenerativos y circulares en lugar de simplemente reducir los impactos negativos. Además, sugieren que los materiales utilizados en productos deben ser clasificados en dos categorías: técnicos y biológicos. Los materiales técnicos son aquellos que no son seguros ni saludables para el medio ambiente y, en lugar de ser eliminados, se mantienen en ciclos técnicos cerrados, donde pueden ser reciclados y reutilizados sin pérdida de calidad. Por otro lado, los materiales biológicos son seguros y saludables para el medio ambiente, y pueden ser compostados y devueltos a la naturaleza.

Daniel Christian Wahl es un educador, consultor y autor que se ha destacado en el campo de la sostenibilidad regenerativa y el diseño de sistemas sostenibles. Wahl es conocido por su trabajo en la aplicación de enfoques sistémicos y ecológicos para abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos de manera integrada. Su enfoque se basa en la interconexión entre sistemas naturales y sistemas humanos, buscando crear soluciones holísticas y regenerativas.

Wahl es autor del libro "Designing Regenerative Cultures" (Diseñando Culturas Regenerativas), en el cual explora cómo repensar y rediseñar prácticas humanas y sistemas para estar más alineados con los principios de la naturaleza y promover la regeneración en lugar de la degradación.

La evolución del concepto de sostenibilidad a lo largo de la historia demuestra la creciente conciencia de la interdependencia entre la humanidad y el entorno natural. Desde los movimientos iniciales de conservación y ecologismo hasta los enfoques contemporáneos regenerativos y circulares, ha quedado claro que la sostenibilidad no puede entenderse en términos unidimensionales. En un mundo donde los desafíos insostenibles, como la degradación ambiental y el agotamiento de recursos, siguen siendo evidentes, es vital abordar la otra cara de la moneda: la insostenibilidad. La falta de consideración a largo plazo y la explotación desmedida pueden llevar a la insostenibilidad, amenazando la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. Al comprender la evolución de la sostenibilidad y los riesgos de la insostenibilidad, podemos forjar un camino hacia un futuro más equitativo, armonioso y viable para nuestro planeta y las personas que lo habitan.

Una mirada crítica al concepto de sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad ha sido un tema central en el discurso global sobre la relación entre las actividades humanas y el entorno natural. Sin embargo, su interpretación y aplicación han dado lugar a un debate enriquecedor entre prominentes teóricos que han influido significativamente en el campo de la ecología política y la economía ecológica. Entre estas voces críticas destacan Enrique Leff, José Manuel Naredo y Joan Martínez Alier, quienes, aunque comparten una visión crítica en relación con la sostenibilidad, presentan enfoques distintos que merecen ser examinados con detenimiento.

Enrique Leff, reconocido teórico mexicano, ha propuesto un enfoque integral de la sostenibilidad que abarca las interacciones complejas entre lo social, económico y ambiental. A través de su concepto de 'racionalidad ambiental', (Leff, 2007) busca armonizar las actividades humanas con los sistemas ecológicos para evitar su deterioro. Su perspectiva va más allá de una mera interpretación superficial del desarrollo sostenible, proponiendo una visión profunda que lo concibe como un proyecto político y cultural. Para Leff, la sostenibilidad no solo implica cambios en las prácticas económicas, sino también la transformación de paradigmas arraigados que perpetúan la explotación ambiental.

José Manuel Naredo y Joan Martínez Alier, por su parte, comparten un enfoque crítico hacia el paradigma convencional de crecimiento económico ilimitado. (Naredo Pérez, 1987) aboga por una economía que considere aspectos ecológicos, sociales y culturales, y cuestiona la dependencia excesiva de los recursos naturales en el modelo económico dominante. Su llamado a repensar el concepto de prosperidad más allá del crecimiento económico refleja su preocupación por la sobreproducción y el consumo desmedido. Martínez Alier, en cambio, (Forsyth, 2003) resalta los conflictos socioambientales y aboga por la justicia ambiental, insistiendo en que la sostenibilidad debe incluir la equidad en la distribución de costos y beneficios.

Si bien Leff, Naredo y Martínez Alier comparten una crítica al enfoque convencional de sostenibilidad, sus enfoques difieren en énfasis y alcance. Leff aboga por una transformación cultural y política profunda, mientras que Naredo y Martínez Alier resaltan la importancia de reconsiderar los límites de los recursos naturales y la equidad en la distribución de impactos ambientales. Estas perspectivas críticas enriquecen el debate sobre cómo abordar los desafíos ambientales y sociales del mundo actual, invitándonos a replantear nuestro entendimiento de la sostenibilidad y sus implicaciones para el futuro.

“Weak and strong sustainability”

Los conceptos de "Weak Sustainability" (sostenibilidad débil) y "Strong Sustainability" (sostenibilidad fuerte) han sido fundamentales en los campos de la economía y la ecología ambiental. Aunque no se pueden atribuir a un solo autor específico, diversos académicos y economistas han desempeñado un papel crucial en su formulación y en el debate en torno a sus implicaciones. Estos conceptos emergieron como resultado de los debates que tuvieron lugar en las décadas de 1980 y 1990 en el ámbito de la economía ambiental y la economía ecológica.

Autores influyentes como Robert Solow, Partha Dasgupta, Herman Daly, Joan Martínez Alier y Karl-Göran Mäler han dejado su huella en la definición y la discusión de los enfoques de sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. Estos académicos han contribuido significativamente a la comprensión de cómo los seres humanos deben interactuar con el medio ambiente en busca de un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del entorno natural.

La sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte se erigen como dos pilares fundamentales dentro del paradigma del desarrollo sostenible. Estas perspectivas contrastantes examinan cómo la actividad humana y la explotación de los recursos naturales se relacionan con el objetivo de mantener el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Su distinción delinearé una senda de análisis que requiere un escrutinio minucioso, a fin de comprender plenamente sus alcances y consecuencias. En la tabla 1 se pueden identificar las diferencias centrales entre la sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte:

Tabla 1. Cuadro comparativo – sostenibilidad débil vs sostenibilidad fuerte

Aspecto Comparativo	Sostenibilidad Débil	Sostenibilidad Fuerte
Substitución de Capital	El capital natural puede ser sustituido por capital humano sin comprometer la sostenibilidad general.	Algunos aspectos del capital natural son esenciales y no pueden ser completamente reemplazados por el capital humano. Se abogan por límites en la explotación.
Crecimiento Económico	Enfatiza el crecimiento económico e innovación tecnológica como medios para abordar desafíos ambientales.	Cuestiona la capacidad del crecimiento económico para contrarrestar indefinidamente la degradación ambiental. Prioriza la protección de sistemas naturales críticos.
Irreversibilidad y Umbrales Críticos	Menos preocupación por posibles impactos irreversibles. Se confía en que mecanismos de mercado y tecnología puedan gestionar compensaciones.	Destaca la irreversibilidad de cambios ecológicos y la existencia de umbrales críticos. Aboga por la protección de ecosistemas y biodiversidad.
Perspectiva	Enfoque más antropocéntrico, donde el valor del medio ambiente se determina por su contribución al bienestar humano y crecimiento económico.	Perspectiva más holística, reconociendo el valor intrínseco de ecosistemas y especies más allá de su utilidad para humanos.

Fuente: Autoría propia tomando como referencia a (Forsyth, 2003)

Estas perspectivas contrastantes reflejan las complejidades inherentes al equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente, y proporcionan un terreno fértil para la reflexión y el debate sobre el camino a seguir en la búsqueda de la sostenibilidad global.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del presente estudio se hizo necesario investigar sobre la mejor metodología que se puede utilizar para lograr alcanzar el objetivo general, tomado como referencia el artículo "A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies" de Grant & Booth, (2009), quienes analizaron diferentes tipologías de revisiones sistemáticas y otros tipos de revisiones de la literatura, explorando las metodologías y técnicas asociadas a cada uno de ellos, con el fin de proporcionar una guía útil para los investigadores y profesionales que realizan este tipo de investigaciones en sus áreas de estudio.

Para poder realizar un análisis descriptivo del estado del arte de la literatura relacionada con la energía fotovoltaica y factores que afectan la sostenibilidad, una metodología adecuada podría ser una revisión sistemática de la literatura, esto permitirá identificar, seleccionar y sintetizar la evidencia disponible de manera rigurosa y sistemática (Booth et al., 2012), es importante resaltar la transparencia y reproducibilidad de los métodos utilizados, así como la inclusión de la evaluación crítica de la calidad y el riesgo de sesgo de los estudios incluidos.

En el desarrollo de este trabajo de investigación se combinaron dos enfoques de investigación para obtener una solución estructurada a los objetivos específicos. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliométrica cuantitativa, que se basa en el análisis de citas para evaluar la relevancia y el impacto de ciertas categorías como autores, instituciones, revistas y palabras clave. Además, se realizó un análisis cualitativo para sistematizar y describir la temática en términos de conceptos y categorías específicas. Al unir ambos enfoques, se obtiene una perspectiva más completa y profunda del tema. Para la búsqueda de los documentos que se utilizaron como base para el desarrollo de esta revisión de literatura, se procedió de la siguiente manera:

PASO 1 Búsqueda inicial o mapeo de palabras clave:

En esta fase del proceso, se procedió a la identificación de las palabras clave empleadas, haciendo uso del algoritmo mencionado en la consulta 1 de la Tabla 2, lo que condujo a la obtención de un total de 2703 resultados. Para llevar a cabo la exclusión adecuada, se aplicaron dos categorías de criterios. En primer lugar, se consideró la categoría relacionada con el tipo de acceso, restringiendo la búsqueda a documentos de libre acceso (Open Access). En segundo lugar, y como se refleja en la consulta 2 de la Tabla 2, se focalizó en la delimitación de los tipos específicos de documentos, que incluyeron Artículos (Article), Ponencias de Conferencia (Conference Paper), Revisiones (Review), Capítulos de Libros (Book Chapter), Reseñas de Conferencias (Conference Review) y Libros (Book). Como resultado de este proceso, se logró reducir el conjunto a 721 resultados.

Tabla 2. Algoritmos de búsqueda

Esta actividad se realiza con el objetivo de identificar las principales palabras clave y la relación entre ellas por medio de clústeres, en la siguiente imagen se puede apreciar las palabras de mayor relevancia de acuerdo con el número de ocurrencias, cada color indica un clúster categorizado por VOS viewer.

Ilustración 3. Principales palabras según clúster

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainable development	344	3573
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainability	400	3427
<input checked="" type="checkbox"/>	photovoltaic system	260	2632
<input checked="" type="checkbox"/>	solar power generation	248	2566
<input checked="" type="checkbox"/>	photovoltaic cells	175	1852
<input checked="" type="checkbox"/>	solar energy	193	1846
<input checked="" type="checkbox"/>	solar power	128	1375
<input checked="" type="checkbox"/>	alternative energy	123	1346
<input checked="" type="checkbox"/>	energy efficiency	128	1243
<input checked="" type="checkbox"/>	renewable energies	112	1228
<input checked="" type="checkbox"/>	renewable energy	126	1169
<input checked="" type="checkbox"/>	renewable energy resources	93	1104
<input checked="" type="checkbox"/>	life cycle	74	996
<input checked="" type="checkbox"/>	environmental impact	80	987
<input checked="" type="checkbox"/>	photovoltaics	94	837
<input checked="" type="checkbox"/>	carbon dioxide	65	833
<input checked="" type="checkbox"/>	energy utilization	79	828
<input checked="" type="checkbox"/>	investments	64	818
<input checked="" type="checkbox"/>	greenhouse gases	59	767
<input checked="" type="checkbox"/>	renewable resource	61	742

Fuente: VOS viewer

Posterior a esto, se agruparon las palabras clave y se propusieron nuevos algoritmos de búsqueda, en esta etapa se seleccionaron las 15 palabras con mayores ocurrencias y se cruzaron en una tabla para categorizarlas por temáticas o por sinónimos de mayor relevancia.

Tabla 3. Categorización de palabras clave

TEMATICA	CLÚSTER 1	CLÚSTER 2	CLÚSTER 3	CLÚSTER 4
sostenibilidad	Sustainable development (344)	sustainability (400)		
	environmental impact (80)			energy efficiency (128)
energía solar fotovoltaica	Solar power generation (248)	photovoltaic system (260)	Solar energy (193)	
	Photovoltaic cells (175)	Solar power (128)	renewable energies (112)	
	photovoltaics (94)	alternative energy (123)	renewable energy (126)	
			renewable energy resources (93)	
Gestión empresarial	lifecycle (74)			

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia Ilustración 3.

PASO 2 Búsqueda sistemática de bibliografía:

El trabajo realizado en la fase anterior permitió analizar la estrecha relación de las palabras clave y así se plantean nuevos algoritmos de búsqueda que no se eligen arbitrariamente. A continuación, se muestran las combinaciones realizadas:

Tabla 4. Combinación de palabras clave

PALABRA 1	OPER.	PALABRA 2	OPER.	PALABRA 3
lifecycle (74)	AND	photovoltaic system (260)	AND	sustainability (400)
lifecycle (74)	AND	photovoltaic system (260)	AND	Sustainable development (344)
lifecycle (74)	AND	photovoltaic system (260)	AND	energy efficiency (128)
lifecycle (74)	AND	photovoltaic system (260)	AND	Environmental impact (80)
		photovoltaic system (260)	AND	sustainability (400)
		photovoltaic system (260)	AND	Sustainable development (344)
		photovoltaic system (260)	AND	environmental impact(80)

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los algoritmos presentados en la tabla 4 y siguiendo los criterios de exclusión establecidos previamente, se llevaron a cabo diversas consultas, como se

puede observar en la tabla 5. Los resultados obtenidos condujeron a la selección de los documentos más pertinentes y relacionados, basándose en la relevancia y la conexión entre sus títulos y resúmenes. En total, se identificaron y seleccionaron 59 documentos que cumplieran con estos criterios.

Tabla 5. consultas realizadas

Consulta	Ecuación de búsqueda	Limitadores aplicados	Número de resultados obtenidos	Documentos seleccionados
3	TITLE-ABS-KEY (("lifecycle") AND ("photovoltaic system") AND ("sustainability"))	(LIMIT-TO (OA,"all")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"cr") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"bk") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"dp"))	4	0
4	TITLE-ABS-KEY(("lifecycle") AND ("photovoltaic system")AND("Sustainable development"))		2	0
5	TITLE-ABS-KEY(("lifecycle") AND ("photovoltaic system")AND("environmental impact"))		7	1
6	TITLE-ABS-KEY(("lifecycle") AND ("photovoltaic system")AND("energy efficiency"))		3	0
7	TITLE-ABS-KEY (("photovoltaic system") AND ("sustainability"))		391	21
8	TITLE-ABS-KEY (("photovoltaic system") AND ("Sustainable development"))		346	18
9	TITLE-ABS-KEY (("photovoltaic system") AND ("environmental impact"))		258	19

Después de comparar los documentos, se pudo determinar que 16 de ellos estaban duplicados y que 4 documentos no cumplían con el criterio de publicación entre los años 2013 y 2023. Como resultado, se procedió a seleccionar un total de 39 documentos, que se dividen en 31 artículos, 1 ponencia de conferencia y 7 reseñas. Los detalles correspondientes se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Documentos seleccionados

Artículo	Autores	Título	Año	Título de la fuente	Tipo de documento
1	Alstone P., Gershenson D., Kammen D.M.	Decentralized energy systems for clean electricity access	2015	Nature Climate Change	Review
2	Victoria M., Haegel N., Peters I.M., Sinton R., Jäger-Waldau A., del Cañizo C.,	Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future	2021	Joule	Review

	Breyer C., StocksM., Blakers A., Kaizuka I., Komoto K., Smets A.				
3	Zheng C., Kammen D.M.	An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry	2014	Energy Policy	Article
4	Huang W.-H., Shin W.J., Wang L., Sun W.-C., Tao M.	Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules	2017	Solar Energy	Article
5	Rolffs P., Ockwell D., Byrne R.	Beyond technology and finance: pay-as-you-go sustainable energy access and theories of social change	2015	Environment and Planning A	Article
6	Aberilla J.M., Gallego-Schmid A., Stamford L., Azapagic A.	Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities	2020	Applied Energy	Article
7	Feron S.	Sustainability of off-grid photovoltaic systems for rural electrification in developing countries: A review	2016	Sustainability (Switzerland)	Review
8	Balcombe P., Rigby D., Azapagic A.	Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage	2015	Applied Energy	Article
9	Zhao H., Guo S.	External benefit evaluation of renewable energy power in China for sustainability	2015	Sustainability (Switzerland)	Article
10	Corcelli F., Ripa M., Leccisi E., Cigolotti V., Fiandra V., Graditi G., Sannino L., Tammaro M., Ulgiate S.	Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life	2018	Ecological Indicators	Article
11	Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M.	Economic analysis of a photovoltaic system: A resource for residential households	2017	Energies	Article

12	Yu M., Halog A.	Solar photovoltaic development in Australia-a life cycle sustainability assessment study	2015	Sustainability (Switzerland)	Article
13	Beylot A., Payet J., Puech C., Adra N., Jacquin P., Blanc I., Beloin-Saint-Pierre D.	Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations	2014	Renewable Energy	Article
14	Bakhiyi B., Labrèche F., Zayed J.	The photovoltaic industry on the path to a sustainable future - Environmental and occupational health issues	2014	Environment International	Review
15	Li T., Roskilly A.P., Wang Y.	Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England	2018	Applied Energy	Article
16	Stamford L., Azapagic A.	Environmental Impacts of Photovoltaics: The Effects of Technological Improvements and Transfer of Manufacturing from Europe to China	2018	Energy Technology	Article
17	Malandrino O., Sica D., Testa M., Supino S.	Policies and measures for sustainable management of solar panel end-of-life in Italy	2017	Sustainability (Switzerland)	Review
18	Gholami H., Nils Røstvik H., Manoj Kumar N., Chopra S.S.	Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway	2020	Solar Energy	Article
19	Kougias I., Bódis K., Jäger-Waldau A., Monforti-Ferrario F., Szabó S.	Exploiting existing dams for solar PV system installations	2016	Progress in Photovoltaics: Research and Applications	Article
20	Ameli N., Kammen D.M.	Innovations in financing that drive cost parity for long-term electricity sustainability: An assessment of Italy, Europe's fastest growing solar photovoltaic market	2014	Energy for Sustainable Development	Article

21	Lema R., Hanlin R., Hansen U.E., Nzila C.	Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning	2018	Energy Policy	Article
22	Szabó S., Bódis K., Kougias I., Moner-Girona M., Jäger-Waldau A., Barton G., Szabó L.	A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites	2017	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Review
23	Chiacchio F., D'Urso D., Famoso F., Brusca S., Aizpurua J.I., Catterson V.M.	On the use of dynamic reliability for an accurate modelling of renewable power plants	2018	Energy	Article
24	Bartie N.J., Cobos-Becerra Y.L., Fröhling M., Schlatmann R., Reuter M.A.	The resources, exergetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities	2021	Resources, Conservation and Recycling	Article
25	Rossi F., Heleno M., Basosi R., Sinicropi A.	Environmental and economic optima of solar home systems design: A combined LCA and LCC approach	2020	Science of the Total Environment	Article
26	Feron S., Heinrichs H., Cordero R.R.	Sustainability of rural electrification programs based on off-grid photovoltaic (PV) systems in Chile	2016	Energy, Sustainability and Society	Article
27	Feron S., Cordero R.R., Labbe F.	Rural electrification efforts based on off-grid photovoltaic systems in the Andean Region: Comparative assessment of their sustainability	2017	Sustainability (Switzerland)	Article
28	Ravikumar D., Wender B., Seager T.P., Fraser M.P., Tao M.	A climate rationale for research and development on photovoltaics manufacture	2017	Applied Energy	Article
29	Ribó-Pérez D., Van der Weijde A.H., Álvarez-Bel C.	Effects of self-generation in imperfectly competitive electricity markets: The case of Spain	2019	Energy Policy	Article

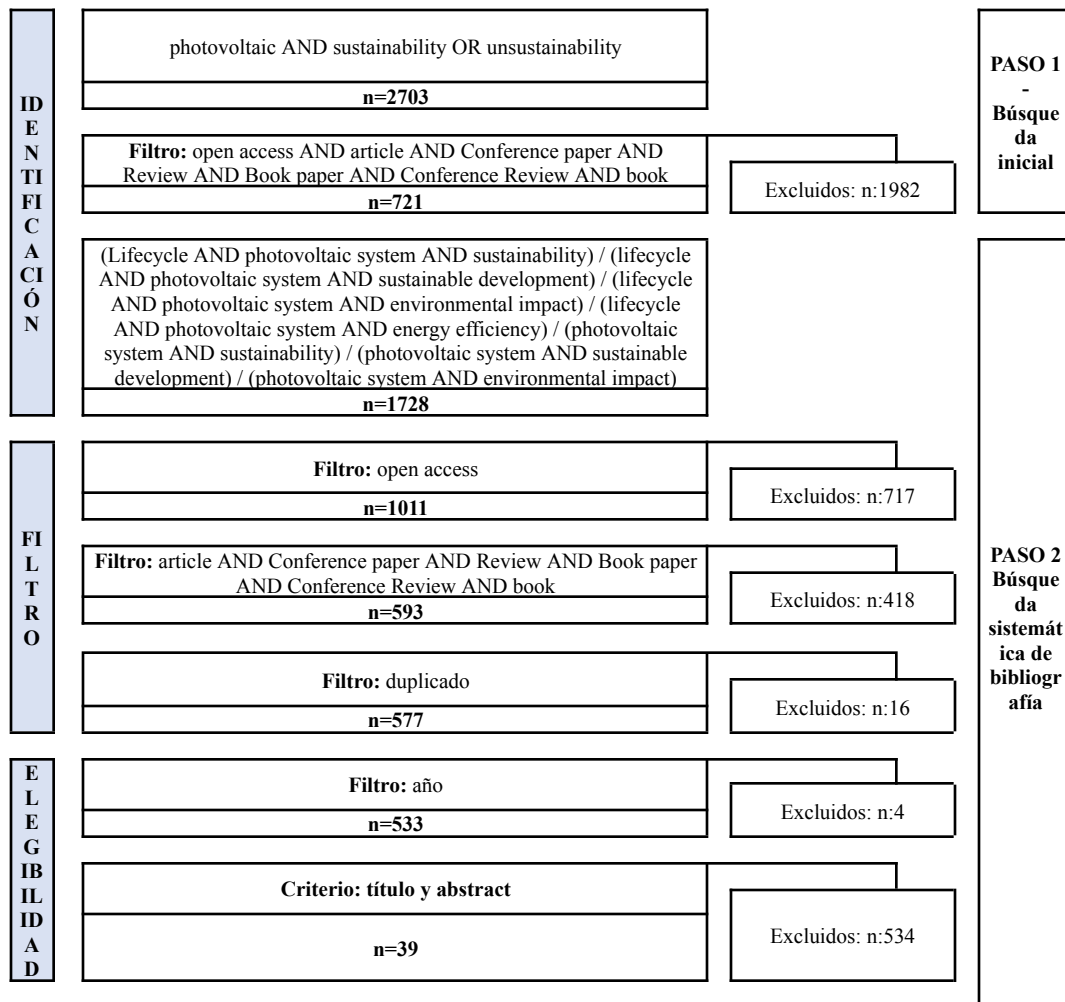
30	Sovacool B.K., Barnacle M.L., Smith A., Brisbois M.C.	Towards improved solar energy justice: Exploring the complex inequities of household adoption of photovoltaic panels	2022	Energy Policy	Article
31	Feron S., Heinrichs H., Cordero R.R.	Are the rural electrification efforts in the Ecuadorian Amazon sustainable?	2016	Sustainability (Switzerland)	Article
32	Dauenhauer P.M., Frame D., Eales A., Strachan S., Galloway S., Buckland H.	Sustainability evaluation of community-based, solar photovoltaic projects in Malawi	2020	Energy, Sustainability and Society	Article
33	Feron S., Cordero R.R.	Is Peru prepared for large-scale sustainable rural electrification?	2018	Sustainability (Switzerland)	Article
34	Cucchiella F., D'Adamo I., Rosa P.	Industrial photovoltaic systems: An economic analysis in non-subsidized electricity markets	2015	Energies	Article
35	Oğuz E., Şentürk A.E.	Selection of the most sustainable renewable energy system for Bozcaada Island: Wind vs. Photovoltaic	2019	Sustainability (Switzerland)	Article
36	Yu H.F., Hasanuzzaman M., Rahim N.A., Amin N., Nor Adzman N.	Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review	2022	Sustainability (Switzerland)	Review
37	Santibañez-Aguilar J.E., Castellanos S., Flores-Tlacuahuac A., Shapiro B.B., Powell D.M., Buonassisi T., Kammen D.M.	Design of domestic photovoltaics manufacturing systems under global constraints and uncertainty	2020	Renewable Energy	Article
38	Pérez C., Ponce P., Meier A., Dorantes L., Sandoval J.O., Palma J., Molina A.	S4 Framework for the Integration of Solar Energy Systems in Small and Medium-Sized Manufacturing Companies in Mexico	2022	Energies	Article

39	Kempt L.	The german energy transition and its stumbling blocks-promotion of power generation from photovoltaic systems and its influence on the german energy transition	2019	Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources	Conference Paper
----	----------	---	------	---	------------------

Fuente: Elaboración propia tomando como referencia base de datos SCOPUS

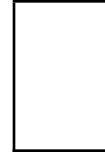
Para concluir y resumir de mejor manera el proceso de búsqueda y selección llevado a cabo en esta revisión de literatura se presenta en la Ilustración 4 el diagrama de flujo PRISMA (Siddaway et al., 2019), representando las etapas de identificación, filtro, elegibilidad e inclusión:

Ilustración 4. Metodología prisma



IN
C
L
U
D
O

Artículos seleccionados
n=39



Fuente: Elaboración propia

LIMITACIONES METODOLÓGICAS

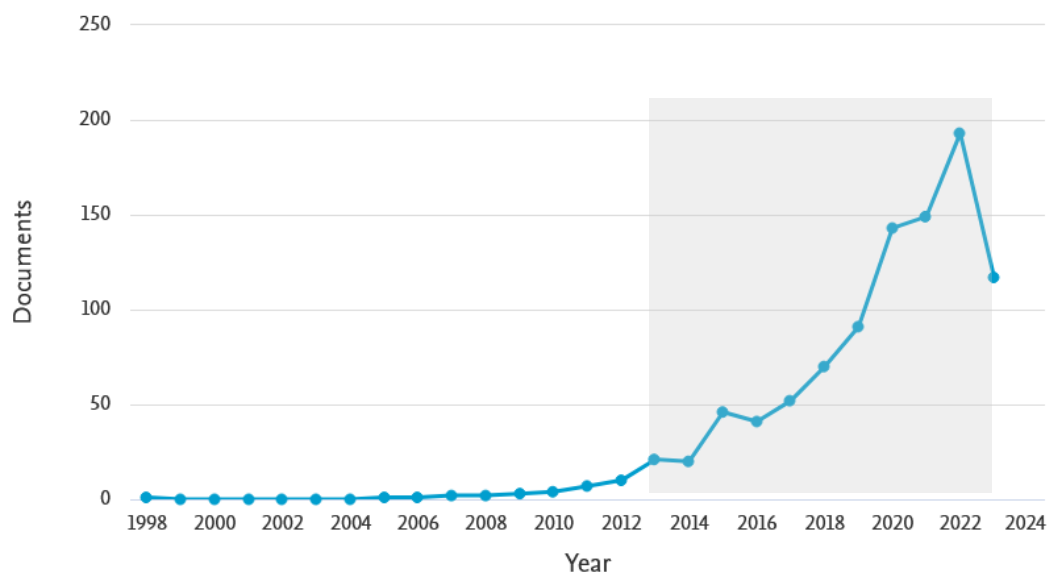
Como limitación metodológica, es importante mencionar que la revisión de literatura se llevó a cabo exclusivamente mediante la herramienta Scopus. Esto se debió a que dicha plataforma proporcionó un amplio conjunto de literatura relevante para llevar a cabo un análisis exhaustivo en concordancia con la naturaleza descriptiva de esta monografía. Aunque Scopus ofreció una variedad sustancial de recursos, es importante reconocer que la elección de esta única fuente de información podría haber dejado fuera algunos estudios valiosos de otras bases de datos o fuentes. Futuras investigaciones podrían considerar una ampliación de las fuentes de literatura para obtener una perspectiva aún más integral sobre el tema.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADO 1 - Estado del arte 2013 a 2023

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y la necesidad de abordar los desafíos del cambio climático, la investigación en el campo de la sostenibilidad y la energía fotovoltaica ha asumido un papel de gran relevancia. El análisis del estado del arte en este ámbito descubre un panorama de notoria complejidad en continua evolución. Además, la literatura científica y académica ha manifestado un interés cada vez más marcado. Mediante un minucioso rastreo y extracción de datos de la base de datos científica SCOPUS, se puede apreciar un patrón sumamente notorio: desde el año 2013 hasta el presente, mostrado con claridad en la ilustración 5, se aprecia una tendencia ascendente sostenida en la cantidad de publicaciones realizadas anualmente. Este incremento alcanza un punto de estabilidad entre los años 2020 y 2021, posiblemente influenciado por las condiciones excepcionales resultantes de la pandemia de COVID-19. Posteriormente, se percibe nuevamente el repunte en la tendencia creciente. Es importante destacar que este análisis se está efectuando a mediados del año 2023, lo que permite inferir que dicha tendencia continuará en aumento.

Ilustración 5. Numero de publicaciones por año



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos Scopus

Es crucial tener conocimiento de las revistas más destacadas donde se han publicado los documentos previamente mencionados. Esto nos permite estar al tanto de las tendencias más recientes y acceder a investigaciones de alta calidad. En general, las revistas de renombre siguen procesos de revisión muy rigurosos, lo que garantiza la publicación de investigaciones confiables y sólidas.

La Tabla 7 resalta las cinco revistas con más publicaciones desde 2013 hasta la actualidad. Estas revistas abarcan una amplia variedad de áreas relacionadas con la sostenibilidad y la energía, lo que refleja la naturaleza multidisciplinaria e interconectada de estos campos en la investigación actual. "Energies" y "Applied Energy" se centran en aspectos técnicos y prácticos de la energía, como la ingeniería eléctrica, la optimización y la aplicación de tecnologías. Esto subraya la importancia de la innovación y la aplicación en la investigación energética. Por otro lado, revistas como "Sustainability Switzerland," "Applied Energy," y "Renewable Energy" tienen un enfoque ambiental, lo que pone en análisis los posibles impactos que esta tecnología podría estar teniendo en el entorno.

Tabla 7. Revistas más relevantes.

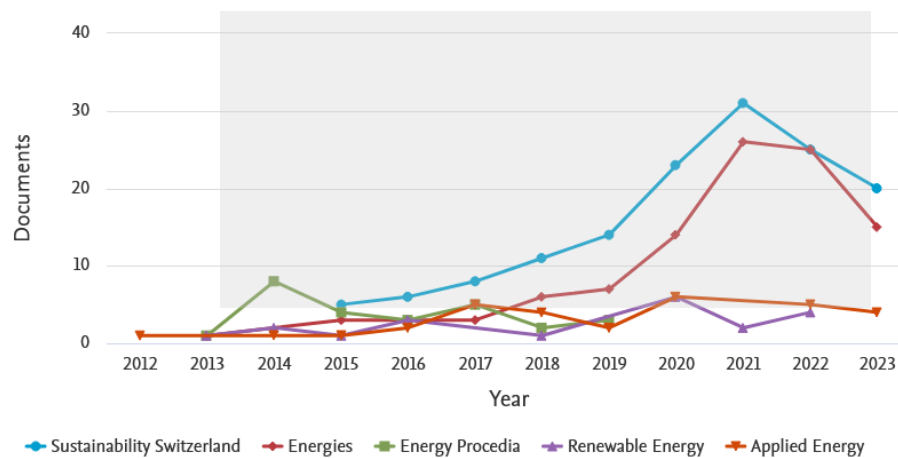
Nombre de revista	ISSN	Cantidad de publicaciones	Principales áreas de estudio
Sustainability Switzerland	2071-1050	143	Ciencias sociales, ciencias de la computación, ciencias ambientales
Energies	1996-1073	100	Ingeniería eléctrica y electrónica, matemática control y optimización, Energía: optimización de combustibles
Applied Energy	0306-2619	31	Ingeniería civil, ciencias ambientales, energía: energías renovables, sostenibilidad y ambiente

Energy Procedia	1876-6102	26	Energía en general
Renewable Energy	0960-1481	20	Energía: energías renovables, sostenibilidad y ambiente

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos Scopus

Con el propósito de proporcionar una visión más clara de la evolución de cada revista a lo largo del tiempo, se presenta en la ilustración 6. la tendencia de publicación de documentos por año para cada una de las revistas. Esta tendencia generalmente se correlaciona con las tendencias globales en el campo.

Ilustración 6. Número de documentos publicados por año

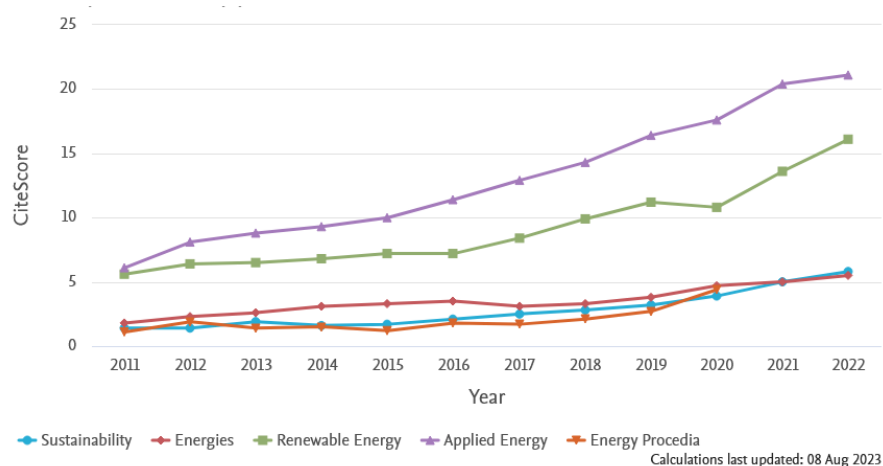


Fuente: Base de datos Scopus

El CiteScore es una métrica utilizada para evaluar el impacto y la influencia de una revista científica en función de las citas recibidas por sus artículos en un período determinado de tiempo., representa el promedio de citas por artículo publicado en una revista en un año específico. Esta métrica toma en consideración no solo el número de citas, sino también la calidad y el prestigio de las revistas que realizan las citas.

En este contexto, el análisis del CiteScore de cada revista adquiere relevancia como una herramienta clave para comprender su posición y reconocimiento en la comunidad académica y científica. Esta métrica ofrece una visión más profunda de cómo las investigaciones publicadas en cada revista son percibidas y utilizadas por otros investigadores y profesionales. La ilustración 7 proporcionará un análisis detallado de estas puntuaciones.

Ilustración 7. CiteScore de las 5 revistas con mayores publicaciones

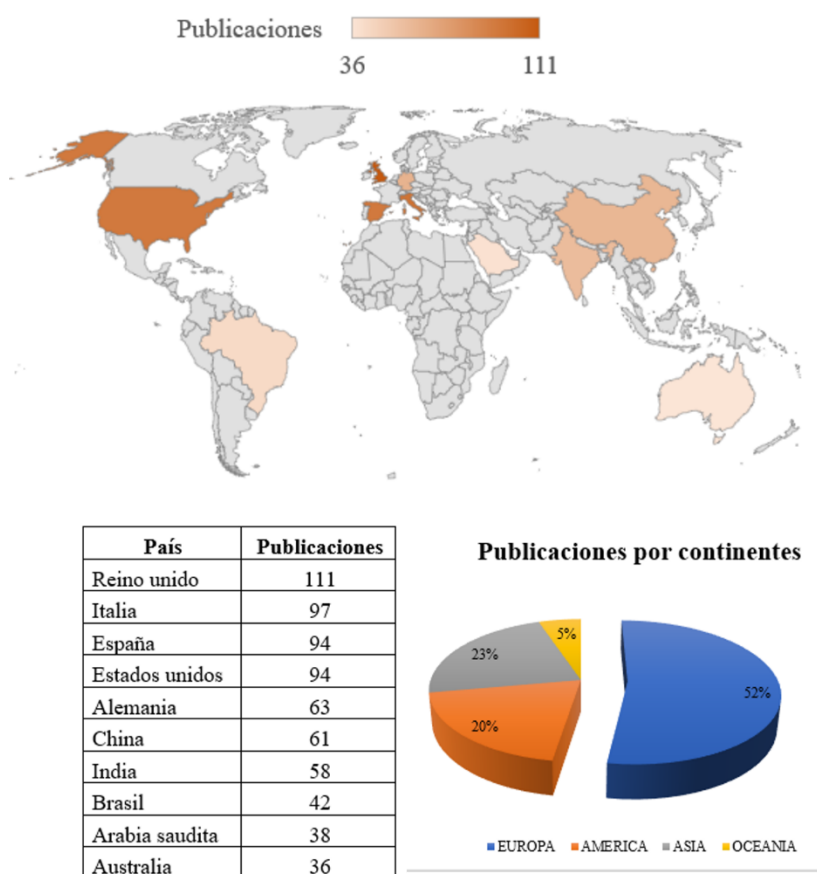


Fuente: Base de datos Scopus

Se puede observar que revistas como “Applied Energy” y “Renewable Energy” presentan un factor de CiteScore que duplica al de las otras revistas, a pesar de contar con una cantidad considerablemente menor de publicaciones. Este patrón sugiere que los artículos publicados en estas revistas tienden a recibir citas con mayor frecuencia por parte de otros investigadores, lo que podría indicar su mayor influencia y contribución en el ámbito de la sostenibilidad y la energía fotovoltaica.

Además, conocer el país con mayor producción en la temática de estudio es de gran relevancia en el análisis del estado del arte. Esta información puede señalar tendencias significativas en términos de enfoque, desarrollo científico y liderazgo en el campo. Si un país específico lidera en la producción de investigaciones sobre un tema, indica una inversión considerable en recursos, infraestructura y talento humano relacionados con esa área de estudio. En la ilustración 8 se visualizan los 10 países con mayor cantidad de publicaciones, mientras que 94 países que no se muestran han realizado aportes valiosos y significativos al tema de sostenibilidad y energía fotovoltaica a nivel global.

Ilustración 8. 10 países con mayor número de publicaciones

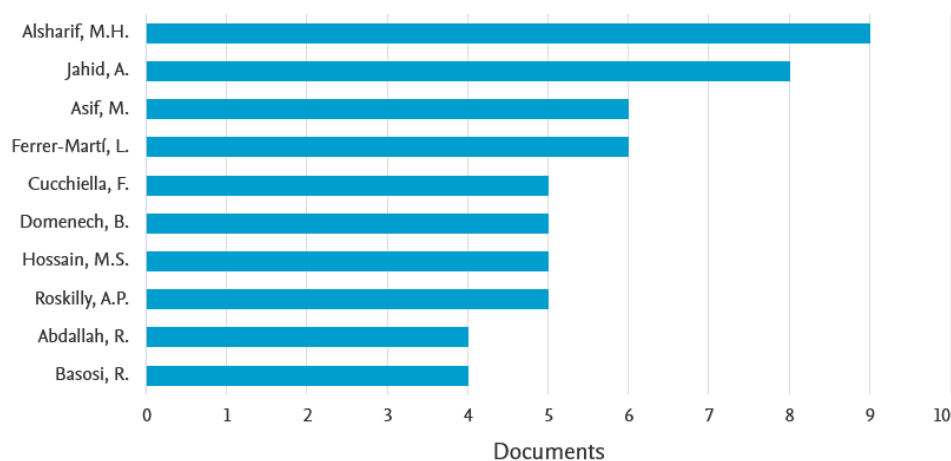


Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos Scopus

El análisis de la distribución geográfica de las publicaciones revela un panorama global de investigación en el campo estudiado. Europa lidera con una fuerte presencia en países como el Reino Unido, Italia, España y Alemania, indicando un enfoque activo en la región. En América, los Estados Unidos y Brasil destacan, mientras que China, India y Arabia Saudita muestran una participación sólida en Asia. Australia sobresale en Oceanía. Estas diferencias en la concentración de publicaciones pueden estar influenciadas por recursos, prioridades de investigación, desarrollo científico regional, categorización de las revistas, procesos de publicación (incluyendo el idioma) y divulgación dificultando los procesos investigativos de países con recursos limitados.

Es crucial analizar a los autores más destacados en este campo. Para ello, es necesario listar a aquellos que han publicado la mayor cantidad de documentos, como se muestra en la ilustración 9. A través de este proceso, es posible identificar a las figuras prominentes en la investigación y explorar sus contribuciones significativas.

Ilustración 9. Autores más relevantes



Fuente: Base de datos Scopus

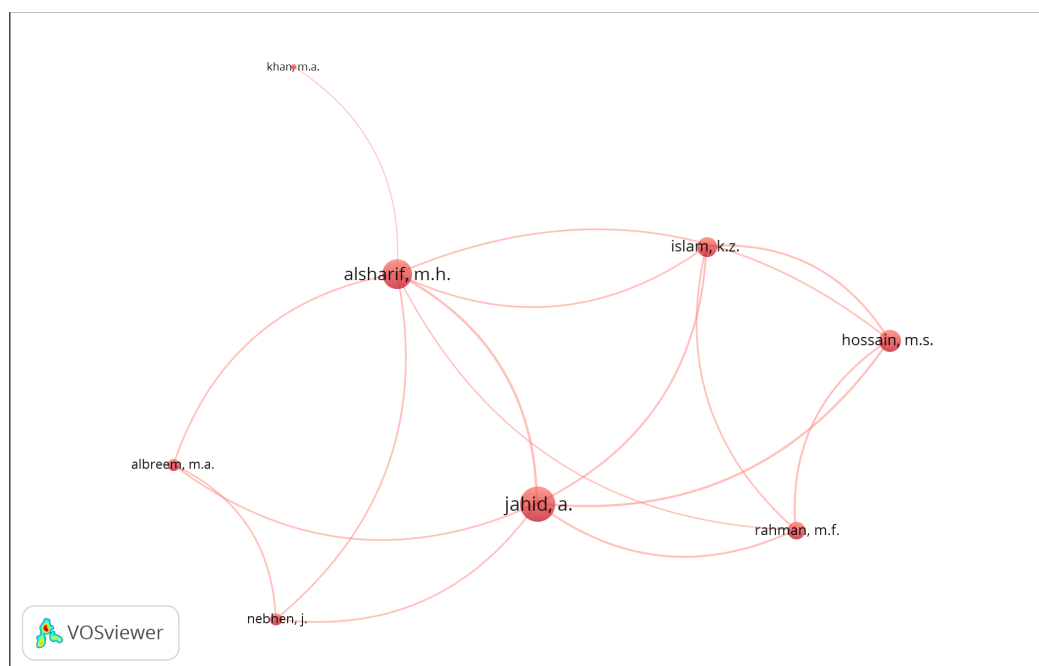
“Mohammed H. Alsharif es el autor más relevante, obtuvo su título de Ingeniería (B.Eng) de la Universidad Islámica de Gaza, Palestina, en 2008, y obtuvo su Maestría en Ciencias de Ingeniería (M.Sc.Eng) y Doctorado (Ph.D.) de la Universidad Nacional de Malasia, Malasia, en 2012 y 2015 respectivamente, en Ingeniería Eléctrica (comunicación inalámbrica y redes). En 2016, se unió al cuerpo docente de la Universidad de Sejong en Corea del Sur como profesor asistente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, donde desde entonces ha sido promovido a Profesor Asociado. Sus actuales intereses de investigación se centran en comunicaciones y redes inalámbricas, abarcando áreas avanzadas como Comunicaciones Inalámbricas, Teoría de la Información en Redes, Internet de las Cosas (IoT), Comunicación Verde, Técnicas de Transmisión Inalámbrica Eficiente en Energía, Transferencia Inalámbrica de Energía y Captación de Energía Inalámbrica. Los logros de investigación del Dr. Alsharif se reflejan en su extenso historial de publicaciones en revistas de primer nivel en

Ingeniería Eléctrica y Electrónica/Ingeniería de Comunicaciones. Su experiencia y contribuciones también han sido reconocidas por destacadas editoriales como IEEE, Elsevier, Springer y MDPI, quienes lo han invitado a ejercer como editor invitado en varias ediciones especiales”.

La presencia de destacados investigadores en el ámbito de la investigación sobre sostenibilidad y energía fotovoltaica, entre ellos Mohammed H. Alsharif, subraya la importancia y pertinencia de su trabajo. Sus conocimientos y aportes son una sólida evidencia de la excelencia y el impacto que su investigación puede tener en la comunidad científica y académica. El análisis de los autores más influyentes en este campo proporciona una comprensión más profunda de las tendencias y avances en esta disciplina, al mismo tiempo que facilita la identificación de fuentes confiables de información y conocimiento. En este contexto, la experiencia de Alsharif en áreas como Comunicaciones Inalámbricas y Eficiencia Energética puede brindar perspectivas extremadamente valiosas para abordar los desafíos de sostenibilidad en la energía fotovoltaica y promover un futuro más sostenible.

En la Ilustración 10, se puede observar cómo, con la ayuda de la cienciometría y en el contexto de esta revisión de literatura, se puede proporcionar información valiosa sobre la correlación entre autores en el campo de estudio e identificar las redes de coautoría, esto puede indicar colaboraciones habituales entre autores y grupos de investigación.

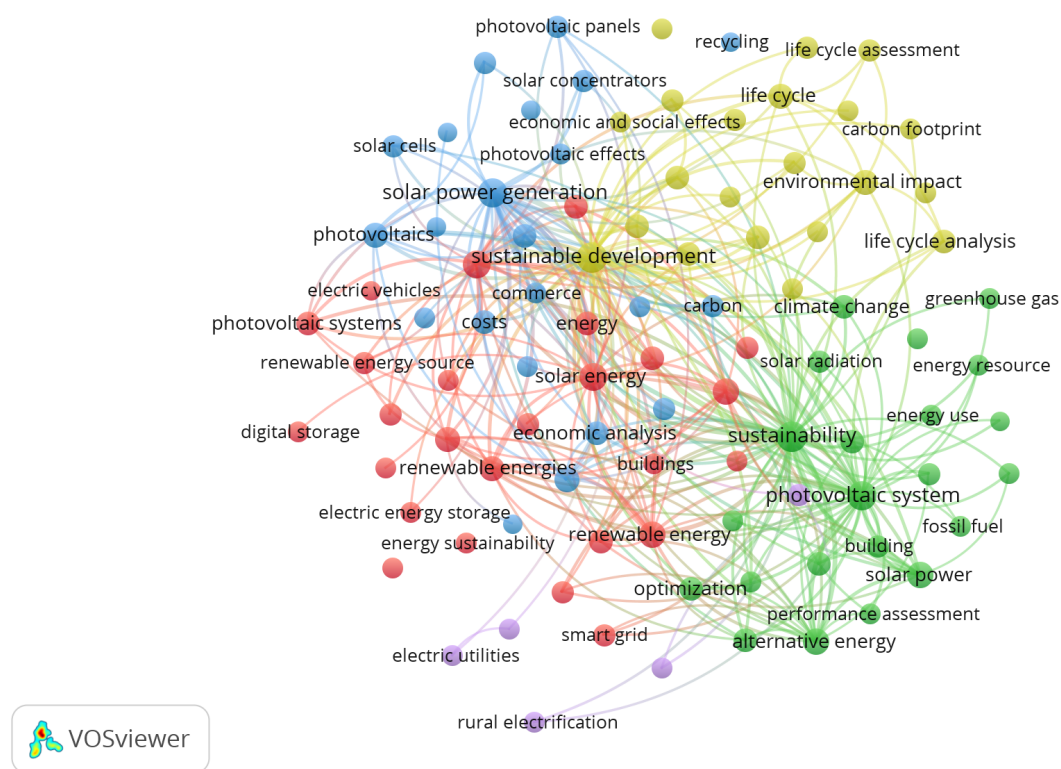
Ilustración 10. Correlación de autores más relevantes.



Fuente: Elaboración en VOSviewer a partir de los datos de Scopus

Otra característica de la cienciometría es poder identificar la correlación de palabras clave en documentos científicos. Esto permite revelar las tendencias de investigación emergentes, detectando palabras clave que se relacionan frecuentemente, lo que sugiere áreas de crecimiento en la investigación científica. Además, permite construir redes de conocimiento, visualizando cómo se entrelazan los conceptos dentro de un campo científico específico. Esto facilita la comprensión de la estructura del conocimiento en dicha área. También, resulta en una herramienta efectiva para identificar temas relevantes, simplificando la búsqueda de literatura significativa para investigaciones específicas. Por último, al analizar la evolución de las palabras clave a lo largo del tiempo, se pueden identificar cambios en la relevancia de ciertos conceptos, proporcionando una visión histórica de la investigación en un campo determinado.

Ilustración 11. Análisis cienciométrico de palabras clave,



Fuente: Elaboración en VOSviewer a partir de los datos de Scopus

En la Ilustración 11, se presenta una representación visual de las relaciones clave en el campo de investigación. Para elaborar esta visualización, se realizó un proceso de co-ocurrencia utilizando un conjunto inicial de 2148 palabras. Para refinar los resultados, se estableció un criterio de selección que requería un mínimo de 8 ocurrencias, lo que resultó en una lista final de 65 palabras. En la figura, se ha asignado a estas palabras diversos colores para indicar su categorización en clústeres temáticos.

En la Tabla 8, se puede apreciar la estructura organizativa de las palabras clave presentadas en la Ilustración 11. Esta organización se ha llevado a cabo con el propósito de proporcionar una representación más clara y facilitar el análisis de las relaciones entre estas palabras clave, permitiendo así la identificación de grandes temas o categorías temáticas en el contexto de la investigación.

Tabla 8. Palabras clave por clúster

cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4
Environmental Impact	photovoltaic panels	Smart grid	lifecycle assessment
Life Cycle Analysis	solar concentrators	energy sustainability	lifecycle
Climate Change	economic and social effects	Electric energy storage	economic and social effects
Greenhouse Gas	photovoltaic effects	renewable energy	carbon footprint
Energy Resource	solar cells	digital storage	environmental impact
Energy Use	solar power generation	renewable energy source	lifecycle analysis
Solar Radiation	photovoltaic	photovoltaic system	sustainable development
Sustainability	commerce	electric vehicles	
Photovoltaic System	cost	solar energy	
Fossil Fuel	economic analysis		
Building	carbon		
Solar Power			
Optimization			
Performance assessment			

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de VOSviewer

Clúster 1: Impacto Ambiental y Ciclo de Vida

Este clúster agrupa palabras clave relacionadas con el impacto ambiental de la energía fotovoltaica a lo largo de su ciclo de vida. Aquí se analizan temas críticos como la huella de carbono, el cambio climático y el uso eficiente de los recursos naturales. La sostenibilidad es un punto central en este clúster, ya que se busca comprender cómo la energía fotovoltaica puede contribuir a la preservación del entorno natural y el desarrollo sostenible.

Clúster 2: Tecnología Fotovoltaica

En este clúster, se exploran aspectos esenciales de la tecnología fotovoltaica y su aplicación práctica. Las palabras clave en este grupo se centran en componentes y sistemas fotovoltaicos, como paneles solares, concentradores solares y sistemas de generación de energía solar. Además, se investiga el costo asociado y la eficiencia de estas tecnologías para su implementación efectiva.

Clúster 3: Red Inteligente y Almacenamiento de Energía

Este clúster se enfoca en la infraestructura eléctrica del futuro, que incluye redes eléctricas inteligentes y soluciones de almacenamiento de energía. Se exploran conceptos como la gestión eficiente de la energía, el almacenamiento digital y la viabilidad de vehículos eléctricos en un contexto de energía renovable. Aquí se busca comprender cómo la energía fotovoltaica puede integrarse en sistemas más inteligentes y sostenibles.

Clúster 4: Evaluación Económica y Social

En este clúster se examinan los efectos económicos y sociales de la energía fotovoltaica. Se realiza una evaluación crítica de su impacto en la sociedad y en la economía, considerando aspectos como el comercio de energía y el desarrollo sostenible. Este clúster busca responder preguntas sobre cómo la energía fotovoltaica puede contribuir a un crecimiento económico sostenible y mejorar la calidad de vida de las comunidades.

4.2.RESULTADO 2 – Perspectivas teóricas en el campo de investigación.

Tras revisar cuidadosamente la bibliografía pertinente, se han seleccionado 39 artículos para explorar diversas perspectivas teóricas relacionadas con la energía fotovoltaica y su papel intrínseco en la promoción de la sostenibilidad. En un mundo cada vez más concienciado con el medio ambiente y con la urgente necesidad de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, la energía fotovoltaica ha surgido como una tecnología fundamental en la transición hacia un futuro más sostenible. Sin embargo, existen diversos matices en la literatura, que van desde perspectivas profundamente comprometidas con la sostenibilidad hasta enfoques notablemente superficiales que pueden priorizar el beneficio individual sin considerar las implicaciones holísticas. Estos 39 artículos encarnan un amplio espectro de enfoques y teorías que profundizan en aspectos cruciales de la aplicación de la energía fotovoltaica, como la evaluación de su impacto medioambiental y social, el análisis de su innovación tecnológica y la valoración de su contribución al desarrollo sostenible. En conjunto, la energía fotovoltaica destaca como una solución crucial en la lucha contra el cambio climático, tal y como sostienen varios autores.

El uso de la energía fotovoltaica es crucial en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Esta ventaja se ve reforzada por estudios como (Li et al., 2018), que evalúa los indicadores de impacto medioambiental y destaca el potencial de reducción del calentamiento global. Además, (Rossi et al., 2020) destaca cómo la energía fotovoltaica no sólo contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂, sino que también minimiza los costes y los efectos negativos sobre el medio ambiente. Estos estudios respaldan la postura de que la energía fotovoltaica es una herramienta eficaz para hacer frente al cambio climático, ya que reduce significativamente las emisiones de CO₂ al tiempo que promueve una matriz energética más sostenible.

La eficacia de la energía fotovoltaica para mitigar las emisiones de CO₂ es evidente en diversos contextos y aplicaciones, como demuestran los estudios de los autores mencionados. Por ejemplo, en el ámbito doméstico, como demuestran (Rossi et al., 2020), la energía solar fotovoltaica no sólo reduce las emisiones de CO₂, sino que también minimiza los costes y el impacto medioambiental, lo que la convierte en una opción beneficiosa para los hogares.

Según (Aberilla et al., 2020), la energía solar fotovoltaica proporciona acceso a la electricidad, mejorando la calidad de vida de las comunidades y reduciendo la dependencia de fuentes de energía contaminantes. (Li et al., 2018) también señalan que la energía solar, cuando se instala en zonas urbanas conectadas a la red, contribuye significativamente a reducir las emisiones de CO₂ y a la transición hacia una matriz energética más limpia. Estos enfoques multidimensionales ponen de relieve la versatilidad de la energía solar fotovoltaica como poderosa herramienta para abordar las emisiones de CO₂ y promover la sostenibilidad en diversos contextos. Sin embargo, no podemos ignorar los retos a los que se enfrenta, como señala (Victoria et al., 2021), el consumo excesivo de materias primas, que suscita preocupaciones de sostenibilidad en relación con el agotamiento de los recursos y los procesos de producción potencialmente perjudiciales para el medio ambiente.

(Stamford & Azapagic, 2018) destaca la toxicidad y el impacto medioambiental asociados a la producción y eliminación de paneles fotovoltaicos, que podrían socavar los beneficios medioambientales de la energía solar. Además, la expansión a gran escala de plantas fotovoltaicas puede tener impactos negativos en el uso de la tierra, con grandes áreas ocupadas, lo que a menudo lleva a la pérdida de hábitats naturales, tal como menciona (Szabó et al., 2017). La intermitencia de la energía solar también presenta desafíos, ya que requiere sistemas de almacenamiento costosos y puede no ser adecuada para todas las condiciones climáticas y geográficas, como advierte (Chiacchio et al., 2018). Por lo tanto, aunque la reducción de las emisiones de CO₂ es una ventaja innegable de la energía solar fotovoltaica, es esencial abordar críticamente los retos asociados a su producción, uso y eliminación para garantizar una verdadera sostenibilidad en el camino hacia un futuro energético más limpio.

En la literatura se puede apreciar una creciente atención al ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos y una consideración meticulosa de los factores técnicos que influyen en su desempeño y sostenibilidad. Por ejemplo, (Corcelli et al., 2018) destaca al evaluar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos, examinando no sólo su producción y uso, sino también su eliminación. Este enfoque integral permite identificar áreas críticas para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental en todas las etapas. Por otro lado, (Li et al., 2018) destaca la importancia de los factores técnicos, especialmente la eficiencia de conversión, como un determinante clave en la sostenibilidad de la energía fotovoltaica. Este artículo va más allá al comparar diferentes indicadores de impacto ambiental, como el potencial de calentamiento global, acidificación, eutrofización y agotamiento de la capa de ozono, en un esfuerzo por evaluar de manera integral la sostenibilidad de la energía solar.

En contraste, (Gholami et al., 2020) plantea preocupaciones sobre los recursos y la energía necesaria para la producción de paneles solares, lo que refleja una perspectiva más enfocada en los factores técnicos y los desafíos en la fabricación de estos sistemas. Este artículo señala que, a pesar de las ventajas de la energía fotovoltaica, se requiere una cantidad considerable de energía y recursos naturales para su producción, lo que subraya la importancia de la innovación y la eficiencia en este contexto. Estos ejemplos ilustran cómo los investigadores están abordando de manera crítica el ciclo de vida y los factores técnicos para avanzar en la sostenibilidad de la energía fotovoltaica.

Como puede apreciarse, existe una delgada línea para identificar verdaderas ventajas en el concepto de sostenibilidad aplicado a la energía fotovoltaica, ya que cada ventaja está intrínsecamente ligada a un impacto. Esto dificulta el análisis y la ponderación precisa de las características de sostenibilidad. Sin embargo, el concepto de sostenibilidad débil y fuerte, presentado en el marco teórico de este trabajo, emerge como una herramienta con definiciones claras que permiten categorizar y analizar de manera más precisa las perspectivas teóricas de los distintos autores.

Al revisar cada uno de los documentos objeto de esta revisión, se tuvieron en cuenta los 4 aspectos comparativos (Sustitución de capital - Crecimiento económico - Irreversibilidad y Umbrales Críticos – Perspectiva) y, de acuerdo con ellos, se determinó si la perspectiva del autor tenía un enfoque de sostenibilidad débil, sostenibilidad fuerte o mixto, obteniendo los resultados que se observan en la tabla 8.

Tabla 9. Concepto de sostenibilidad aplicado a documentos de estudio

Artículo	Título	Concepto de sostenibilidad
1	Decentralized energy systems for clean electricity access	SOSTENIBILIDAD FUERTE
2	Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future	SOSTENIBILIDAD DÉBIL
3	An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry	SOSTENIBILIDAD FUERTE
4	Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules	SOSTENIBILIDAD DÉBIL
5	Beyond technology and finance: pay-as-you-go sustainable energy access and theories of social change	SOSTENIBILIDAD DEBIL
6	Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities	SOSTENIBILIDAD DEBIL
7	Sustainability of off-grid photovoltaic systems for rural electrification in developing countries: A review	SOSTENIBILIDAD FUERTE
8	Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage	SOSTENIBILIDAD DEBIL
9	External benefit evaluation of renewable energy power in China for sustainability	SOSTENIBILIDAD FUERTE
10	Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life	SOSTENIBILIDAD DEBIL
11	Economic analysis of a photovoltaic system: A resource for residential households	SOSTENIBILIDAD FUERTE

12	Solar photovoltaic development in Australia-a life cycle sustainability assessment study	ENFOQUE MIXTO
13	Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations	SOSTENIBILIDAD DEBIL
14	The photovoltaic industry on the path to a sustainable future - Environmental and occupational health issues	SOSTENIBILIDAD DEBIL
15	Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England	SOSTENIBILIDAD FUERTE
16	Environmental Impacts of Photovoltaics: The Effects of Technological Improvements and Transfer of Manufacturing from Europe to China	SOSTENIBILIDAD DEBIL
17	Policies and measures for sustainable management of solar panel end-of-life in Italy	SOSTENIBILIDAD FUERTE
18	Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway	SOSTENIBILIDAD DEBIL
19	Exploiting existing dams for solar PV system installations	SOSTENIBILIDAD FUERTE
20	Innovations in financing that drive cost parity for long-term electricity sustainability: An assessment of Italy, Europe's fastest growing solar photovoltaic market	SOSTENIBILIDAD DEBIL
21	Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning	SOSTENIBILIDAD DEBIL
22	A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites	SOSTENIBILIDAD FUERTE
23	On the use of dynamic reliability for an accurate modelling of renewable power plants	SOSTENIBILIDAD DEBIL
24	The resources, exergetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities	ENFOQUE MIXTO
25	Environmental and economic optima of solar home systems design: A combined LCA and LCC approach	SOSTENIBILIDAD DEBIL
26	Sustainability of rural electrification programs based on off-grid photovoltaic (PV) systems in Chile	SOSTENIBILIDAD DEBIL
27	Rural electrification efforts based on off-grid photovoltaic systems in the Andean Region: Comparative assessment of their sustainability	SOSTENIBILIDAD FUERTE
28	A climate rationale for research and development on photovoltaics manufacture	SOSTENIBILIDAD FUERTE
29	Effects of self-generation in imperfectly competitive electricity markets: The case of Spain	ENFOQUE MIXTO
30	Towards improved solar energy justice: Exploring the complex inequities of household adoption of photovoltaic panels	SOSTENIBILIDAD FUERTE
31	Are the rural electrification efforts in the Ecuadorian Amazon sustainable?	SOSTENIBILIDAD FUERTE
32	Sustainability evaluation of community-based, solar photovoltaic projects in Malawi	SOSTENIBILIDAD DEBIL
33	Is Peru prepared for large-scale sustainable rural electrification?	SOSTENIBILIDAD DEBIL
34	Industrial photovoltaic systems: An economic analysis in non-subsidized electricity markets	SOSTENIBILIDAD DEBIL
35	Selection of the most sustainable renewable energy system for Bozcaada Island: Wind vs. Photovoltaic	SOSTENIBILIDAD DEBIL
36	Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review	ENFOQUE MIXTO
37	Design of domestic photovoltaics manufacturing systems under global constraints and uncertainty	SOSTENIBILIDAD FUERTE

38	S4 Framework for the Integration of Solar Energy Systems in Small and Medium-Sized Manufacturing Companies in Mexico	SOSTENIBILIDAD FUERTE
39	The german energy transition and its stumbling blocks-promotion of power generation from photovoltaic systems and its influence on the german energy transition	ENFOQUE MIXTO

Fuente: Elaboración propia

Como resultado general, se identificó que el concepto de sostenibilidad débil era aplicable a 19 documentos, mientras que el enfoque de sostenibilidad fuerte se observó en 15 documentos, y 8 documentos presentaron un enfoque mixto.

Los resultados presentados, tras un análisis crítico, indican una mayor prevalencia del concepto de sostenibilidad débil en un 49% de los documentos, especialmente aquellos centrados en la energía fotovoltaica. Esto sugiere que, en gran parte de la literatura examinada, existe una tendencia a considerar que los recursos naturales y el medio ambiente pueden ser sustituidos o compensados por otros tipos de capital, como el tecnológico o el económico, en el contexto de la producción de energía fotovoltaica. Bajo esta perspectiva, se tiende a dar prioridad al crecimiento económico y a la eficiencia como medios para lograr el bienestar humano y satisfacer la creciente demanda de energía.

Sin embargo, esta priorización del crecimiento económico y la eficiencia plantea el riesgo de que, al centrarse en la maximización de la riqueza material y la expansión de la capacidad de generación fotovoltaica, se descuiden las preocupaciones sobre la protección integral del medio ambiente y la conservación a largo plazo de los recursos naturales. Este enfoque puede llevar a decisiones que sacrifican la salud del planeta en aras de objetivos económicos inmediatos, lo que a largo plazo podría ser insostenible e incluso perjudicial para las generaciones futuras. Por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio entre la expansión de la energía fotovoltaica y la preservación de los ecosistemas y recursos naturales, especialmente en un contexto de crecimiento continuo de la demanda de energía y la necesidad de abordar el cambio climático.

La presencia del 38% de documentos que adoptan una perspectiva de sostenibilidad fuerte sugiere que, en una proporción sustancial de la literatura centrada en la energía fotovoltaica, se reconoce la importancia de preservar la integridad de los ecosistemas y los recursos naturales sin considerarlos fácilmente sustituibles. Esto es particularmente relevante en el contexto de la energía fotovoltaica, ya que esta tecnología depende de recursos naturales como la radiación solar y, en algunos casos, materiales específicos para la fabricación de paneles solares.

Este enfoque de sostenibilidad fuerte pone un mayor énfasis en la conservación de la biodiversidad y la gestión responsable de los recursos naturales utilizados en la producción y operación de sistemas fotovoltaicos. Además, destaca la importancia de minimizar los impactos ambientales y garantizar que el despliegue de la energía fotovoltaica no dañe irreversiblemente los ecosistemas locales. Esta perspectiva

reconoce que la sostenibilidad en el contexto de la energía fotovoltaica no se trata solo de reducir las emisiones de carbono, sino también de proteger y preservar los entornos naturales en los que se implementa esta tecnología.

Los 8 documentos, que representan el 21%, presentan un enfoque de sostenibilidad mixto. Esto podría indicar que estos autores consideran tanto los aspectos de sustitución de capital como la importancia de la protección ambiental en el contexto de la energía fotovoltaica. Esto refleja una comprensión más equilibrada de la sostenibilidad, donde se reconoce que algunos recursos utilizados en la energía fotovoltaica pueden ser sustituibles, como ciertos materiales de fabricación, mientras que otros son críticos para el bienestar humano y la salud del planeta, como la preservación de ecosistemas naturales y la biodiversidad.

Esta perspectiva mixta es especialmente relevante en el campo de la energía fotovoltaica, donde la eficiencia y la innovación tecnológica pueden reducir el impacto ambiental en ciertos aspectos, pero donde también es esencial considerar la gestión responsable de los recursos naturales y la protección del entorno en el que se instalan los sistemas fotovoltaicos. En última instancia, esta comprensión equilibrada resalta la importancia de considerar múltiples dimensiones de la sostenibilidad al abordar la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

5. CONCLUSIONES

La presente monografía ha explorado la relación entre el concepto de sostenibilidad y energía fotovoltaica, a través de un análisis exhaustivo de la literatura científica recopilada de la base de datos Scopus durante un período de diez años, desde 2013 hasta 2023. Los resultados y hallazgos presentados arrojan luz sobre diversos aspectos relacionados con la aplicación y el desarrollo de la energía fotovoltaica en un contexto global en constante evolución.

En primer lugar, se ha demostrado que la energía fotovoltaica ha experimentado un crecimiento significativo en términos de adopción y despliegue en todo el mundo. Este crecimiento se ha visto impulsado por la creciente conciencia de la importancia de las fuentes de energía renovable en la mitigación del cambio climático y la transición hacia un sistema energético más sostenible. La energía fotovoltaica ha demostrado ser una opción viable y efectiva para reducir las emisiones de carbono y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

Sin embargo, la revisión de la literatura también ha destacado las preocupaciones y desafíos relacionados con la sostenibilidad de la energía fotovoltaica. Uno de los hallazgos más destacados es la distinción entre los enfoques de sostenibilidad débil y fuerte. Se observa que existe una tendencia en la literatura a favorecer un enfoque de sostenibilidad débil, donde los recursos naturales y ambientales son considerados

sustituibles por capital tecnológico o económico en la producción de energía fotovoltaica. Este enfoque, aunque puede fomentar el crecimiento económico y la eficiencia, plantea riesgos de agotamiento de recursos naturales y daños ambientales a largo plazo.

Por otro lado, la perspectiva de sostenibilidad fuerte, que reconoce la importancia de preservar la integridad de los ecosistemas y los recursos naturales sin considerarlos fácilmente sustituibles, también se ha destacado en la literatura. Esta perspectiva enfatiza la conservación de la biodiversidad y la gestión responsable de los recursos naturales utilizados en la producción de sistemas fotovoltaicos.

Además, se ha identificado un grupo de documentos que adoptan un enfoque de sostenibilidad mixto, reconociendo que algunos recursos son sustituibles mientras que otros son críticos para el bienestar humano y la salud del planeta. Esta comprensión equilibrada refleja la necesidad de considerar múltiples dimensiones de la sostenibilidad al abordar la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

En resumen, esta revisión de literatura proporciona una visión integral de la sostenibilidad de la energía fotovoltaica y destaca la importancia de considerar cuidadosamente los aspectos económicos, ambientales y sociales en el desarrollo y la implementación de esta tecnología. Las conclusiones de este trabajo subrayan la necesidad de encontrar un equilibrio entre la expansión de la energía fotovoltaica y la preservación de los ecosistemas y recursos naturales, especialmente en un contexto de crecimiento continuo de la demanda de energía y la necesidad de abordar el cambio climático. Estos resultados son fundamentales para guiar futuras investigaciones y políticas en el campo de la energía fotovoltaica y la sostenibilidad energética en general.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aberilla, J. M., Gallego-Schmid, A., Stamford, L., & Azapagic, A. (2020). Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities. *Applied Energy*, 258, 114004. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114004>
- Alstone, P., Gershenson, D., & Kammen, D. M. (2015). Decentralized energy systems for clean electricity access. *Nature Climate Change*, 5(4), 305-314. <https://doi.org/10.1038/nclimate2512>
- Ameli, N., & Kammen, D. M. (2014). Innovations in financing that drive cost parity for long-term electricity sustainability: An assessment of Italy, Europe's fastest growing solar photovoltaic market. *Energy for Sustainable Development*, 19(1), 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.01.001>
- Bakhiyi, B., Labrèche, F., & Zayed, J. (2014). The photovoltaic industry on the path to a sustainable future — Environmental and occupational health issues. *Environment International*, 73, 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.07.023>
- Balcombe, P., Rigby, D., & Azapagic, A. (2015). Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage. *Applied Energy*, 139, 245-259. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.034>

- Bartie, N. J., Cobos-Becerra, Y. L., Fröhling, M., Schlatmann, R., & Reuter, M. A. (2021). The resources, exergetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, *169*, 105516. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105516>
- Beylot, A., Payet, J., Puech, C., Adra, N., Jacquin, P., Blanc, I., & Beloin-Saint-Pierre, D. (2014). Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations. *Renewable Energy*, *61*, 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.051>
- Booth, A., Papaioannou, D., & Sutton, A. (2012). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*.
- Chiacchio, F., D'Urso, D., Famoso, F., Brusca, S., Aizpurua, J. I., & Catterson, V. M. (2018). On the use of dynamic reliability for an accurate modelling of renewable power plants. *Energy*, *151*, 605-621. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.101>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible : una oportunidad para América Latina y el Caribe*. https://bibliotecadigital.aecid.es/bibliodig/pub_aecid/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=1018395
- Corcelli, F., Ripa, M., Leccisi, E., Cigolotti, V., Fiandra, V., Graditi, G., Sannino, L., Tamaro, M., & Ulgiati, S. (2018). Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life. *Ecological Indicators*, *94*, 37-51. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.028>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2017). Economic Analysis of a Photovoltaic System: A Resource for Residential Households. *Energies*, *10*(6), 814. <https://doi.org/10.3390/en10060814>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Rosa, P. (2015). Industrial Photovoltaic Systems: An Economic Analysis in Non-Subsidized Electricity Markets. *Energies*, *8*(11), 12865-12880. <https://doi.org/10.3390/en81112350>
- Dauenhauer, P. M., Frame, D., Eales, A., Strachan, S., Galloway, S., & Buckland, H. (2020). Sustainability evaluation of community-based, solar photovoltaic projects in Malawi. *Energy, Sustainability and Society*, *10*(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-0241-0>
- de Kuyper, J. C. V. (2018). PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y DE LAS BATERÍAS. En *PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y DE LAS BATERÍAS* (pp. 45-66). Ediciones UC. <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb50j>
- Elkington, J. (2017). Cannibals with Forks. En *The Top 50 Sustainability Books*. <https://doi.org/10.4324/9781351279086-27>
- Energy Agency International. (2021). *Global Energy Review 2021 Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO 2 emissions in 2021*. www.iea.org/t&c/
- F., D. S., Leopold, A., & Schwartz, C. W. (1950). A Sand County Almanac and Sketches Here and There. *Bird-Banding*, *21*(2). <https://doi.org/10.2307/4510159>
- Feron, S. (2016). Sustainability of Off-Grid Photovoltaic Systems for Rural Electrification in Developing Countries: A Review. *Sustainability*, *8*(12), 1326. <https://doi.org/10.3390/su8121326>
- Feron, S., & Cordero, R. (2018). Is Peru Prepared for Large-Scale Sustainable Rural Electrification? *Sustainability*, *10*(5), 1683. <https://doi.org/10.3390/su10051683>
- Feron, S., Cordero, R., & Labbe, F. (2017). Rural Electrification Efforts Based on Off-Grid Photovoltaic Systems in the Andean Region: Comparative Assessment of Their Sustainability. *Sustainability*, *9*(10), 1825. <https://doi.org/10.3390/su9101825>

- Feron, S., Heinrichs, H., & Cordero, R. (2016a). Are the Rural Electrification Efforts in the Ecuadorian Amazon Sustainable? *Sustainability*, 8(5), 443. <https://doi.org/10.3390/su8050443>
- Feron, S., Heinrichs, H., & Cordero, R. R. (2016b). Sustainability of rural electrification programs based on off-grid photovoltaic (PV) systems in Chile. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0098-4>
- Forsyth, T. (2003). Book Review: The environmentalism of the poor: a study of ecological conflicts and valuation. *Progress in Development Studies*, 3(3). <https://doi.org/10.1177/146499340300300313>
- Fundamentals of Solar Cell Design*. (s. f.).
- Gholami, H., Nils Røstvik, H., Manoj Kumar, N., & Chopra, S. S. (2020). Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway. *Solar Energy*, 211, 488-502. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.087>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Huang, W.-H., Shin, W. J., Wang, L., Sun, W.-C., & Tao, M. (2017). Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules. *Solar Energy*, 144, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.001>
- International Energy Agency. (2023). *Electricity Market Report 2023*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/255e9cba-da84-4681-8c1f-458ca1a3d9ca/ElectricityMarketReport2023.pdf>
- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland report: 'Our common future'. *Medicine and War*, 4(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Kempt, L. (2019). THE GERMAN ENERGY TRANSITION AND ITS STUMBLING BLOCKS—PROMOTION OF POWER GENERATION FROM PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND ITS INFLUENCE ON THE GERMAN ENERGY TRANSITION. *ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 1, 96. <https://doi.org/10.17770/etr2019vol1.4204>
- Kougias, I., Bódis, K., Jäger-Waldau, A., Monforti-Ferrario, F., & Szabó, S. (2016). Exploiting existing dams for solar PV system installations. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 24(2), 229-239. <https://doi.org/10.1002/pip.2640>
- Leff, E. (2007). La Complejidad Ambiental. *Polis Revista Latinoamericana*, 16.
- Lema, R., Hanlin, R., Hansen, U. E., & Nzila, C. (2018). Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning. *Energy Policy*, 117, 326-339. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.011>
- Li, T., Roskilly, A. P., & Wang, Y. (2018). Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England. *Applied Energy*, 227, 465-479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.021>
- Malandrino, O., Sica, D., Testa, M., & Supino, S. (2017). Policies and Measures for Sustainable Management of Solar Panel End-of-Life in Italy. *Sustainability*, 9(4), 481. <https://doi.org/10.3390/su9040481>
- Messenger, R. A., & Abtahi, A. (2018). Photovoltaic Systems Engineering. En *Photovoltaic Systems Engineering*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315218397>
- Naredo Pérez, J. M. (1987). La economía en evolución: historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico. *Notas Y Reseñas Siglo XXI, Madrid*.
- National Renewable Energy Laboratory. (2014). *Community Shared Solar: Policy and Regulatory Considerations*. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1158420>.

- Oğuz, E., & Şentürk, A. E. (2019). Selection of the Most Sustainable Renewable Energy System for Bozcaada Island: Wind vs. Photovoltaic. *Sustainability*, 11(15), 4098. <https://doi.org/10.3390/su11154098>
- Pérez, C., Ponce, P., Meier, A., Dorantes, L., Sandoval, J. O., Palma, J., & Molina, A. (2022). S4 Framework for the Integration of Solar Energy Systems in Small and Medium-Sized Manufacturing Companies in Mexico. *Energies*, 15(19), 6882. <https://doi.org/10.3390/en15196882>
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*.
- Ravikumar, D., Wender, B., Seager, T. P., Fraser, M. P., & Tao, M. (2017). A climate rationale for research and development on photovoltaics manufacture. *Applied Energy*, 189, 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.050>
- Ribó-Pérez, D., Van der Weijde, A. H., & Álvarez-Bel, C. (2019). Effects of self-generation in imperfectly competitive electricity markets: The case of Spain. *Energy Policy*, 133, 110920. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110920>
- Rolfs, P., Ockwell, D., & Byrne, R. (2015). Beyond technology and finance: pay-as-you-go sustainable energy access and theories of social change. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 47(12), 2609-2627. <https://doi.org/10.1177/0308518X15615368>
- Rossi, F., Heleno, M., Basosi, R., & Sinicropi, A. (2020). Environmental and economic optima of solar home systems design: A combined LCA and LCC approach. *Science of The Total Environment*, 744, 140569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140569>
- Santibañez-Aguilar, J. E., Castellanos, S., Flores-Tlacuahuac, A., Shapiro, B. B., Powell, D. M., Buonassisi, T., & Kammen, D. M. (2020). Design of domestic photovoltaics manufacturing systems under global constraints and uncertainty. *Renewable Energy*, 148, 1174-1189. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.010>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. En *Annual Review of Psychology* (Vol. 70). <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>
- Sovacool, B. K., Barnacle, M. L., Smith, A., & Brisbois, M. C. (2022). Towards improved solar energy justice: Exploring the complex inequities of household adoption of photovoltaic panels. *Energy Policy*, 164, 112868. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112868>
- Stamford, L., & Azapagic, A. (2018). Environmental Impacts of Photovoltaics: The Effects of Technological Improvements and Transfer of Manufacturing from Europe to China. *Energy Technology*, 6(6), 1148-1160. <https://doi.org/10.1002/ente.201800037>
- Szabó, S., Bódis, K., Kougias, I., Moner-Girona, M., Jäger-Waldau, A., Barton, G., & Szabó, L. (2017). A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1291-1300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.117>
- United Nations Development Programme. (2019). *Informe sobre Desarrollo Humano 2019*. <https://hdr.undp.org/reports-and-publications>
- Victoria, M., Haegel, N., Peters, I. M., Sinton, R., Jäger-Waldau, A., del Cañizo, C., Breyer, C., Stocks, M., Blakers, A., Kaizuka, I., Komoto, K., & Smets, A. (2021). Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future. *Joule*, 5(5), 1041-1056. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.005>
- Villalva, Marcelo Gradella; Gazoli, J. R. (2012). Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. En *Creative Commons*.
- Wenhua, Q., & Yuan, Z. (2022). Perkin Marsh's Environmental Writing and Ethical Reflection on Man and Nature. *Interdisciplinary Studies of Literature*, 6(1).

- World Health Organization, The world bank group, IRENA, & Sustainable energy for all. (2023). *Energizing health: accelerating electricity access in health-care facilities Executive summary*. <http://apps.who.int/bookorders>.
- Yu, H. F., Hasanuzzaman, Md., Rahim, N. A., Amin, N., & Nor Adzman, N. (2022). Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 14(14), 8567. <https://doi.org/10.3390/su14148567>
- Yu, M., & Halog, A. (2015). Solar Photovoltaic Development in Australia—A Life Cycle Sustainability Assessment Study. *Sustainability*, 7(2), 1213-1247. <https://doi.org/10.3390/su7021213>
- Zhao, H., & Guo, S. (2015). External Benefit Evaluation of Renewable Energy Power in China for Sustainability. *Sustainability*, 7(5), 4783-4805. <https://doi.org/10.3390/su7054783>
- Zheng, C., & Kammen, D. M. (2014). An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry. *Energy Policy*, 67, 159-169. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.006>

ANEXOS.

FICHA DE LECTURA N°1	
Título: Decentralized energy systems for clean electricity access	Datos bibliográficos: (Alstone et al., 2015)
País, Ciudad: Berkeley, 94720, CA, United States	
RESUMEN DEL TEXTO: Se necesitan enfoques innovadores para abordar las necesidades de los 1.300 millones de personas que carecen de electricidad, al mismo tiempo que se realiza una transición hacia un sistema energético descarbonizado. Con un enfoque particular en las necesidades energéticas de los marginados, presentamos un marco analítico y conceptual que aclara el continuo heterogéneo de la electricidad centralizada en la red, la mini o las redes comunitarias autónomas, y los servicios energéticos distribuidos e individuales. Un análisis histórico muestra que el presente es un momento único en la historia de la electrificación, donde las redes de energía descentralizadas se están extendiendo rápidamente, basadas en electrodomésticos súper eficientes y fotovoltaicos de bajo costo. Documentamos cómo esta evolución es respaldada por tecnologías de información críticas y ampliamente disponibles, en particular, teléfonos móviles y servicios financieros virtuales. Estos sistemas tecnológicos disruptivos pueden aumentar rápidamente el acceso a los servicios básicos de electricidad e informar directamente los objetivos de desarrollo sostenible emergentes para la calidad de vida, al mismo tiempo que impulsan la acción hacia sistemas energéticos inclusivos, de bajo carbono y sostenibles para la Tierra.	
Palabras claves: conceptual framework; decentralization; electricity generation; energy conservation; photovoltaic system; sustainable development	

Interpretación personal: El autor respalda la transición energética y la sostenibilidad, destacando la necesidad de abordar la pobreza energética y el cambio climático mediante sistemas tecnológicos sostenibles. Propone un marco analítico que abarca desde la electricidad centralizada hasta sistemas descentralizados y destaca cómo estos últimos pueden proporcionar acceso a electricidad limpia en comunidades desfavorecidas. La transición requiere innovación tecnológica y cambios políticos, pero ofrece beneficios ambientales, económicos y sociales significativos, incluyendo la reducción de emisiones y la creación de empleos locales. En resumen, se aboga por un enfoque integral y sostenible en la transición energética.

FICHA DE LECTURA N°2

Título: Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future	Datos bibliográficos: (Victoria et al., 2021)
País, Ciudad: Aarhus, Dinamarca; Golden y Boulder, United states; julich, Alemania; Madrid, España; Lappeenranta, Finlandia; Canberra, Australia; Tokyo, Japón; Delft, Holanda.	
RESUMEN DEL TEXTO: El abstract trata sobre la importancia de la tecnología fotovoltaica solar (PV) en la mitigación de emisiones de CO ₂ , pero se señala que muchos modelos de escenarios de descarbonización global no están identificando el papel clave que esta tecnología podría desempeñar, lo que puede llevar a una capacidad futura de PV mucho menor de lo proyectado por la comunidad PV. Los autores revisan los factores detrás de las reducciones históricas de costos de la tecnología PV y buscan identificar innovaciones que puedan contribuir a mantener una alta tasa de aprendizaje. Además, se propone una discusión constructiva entre expertos en PV, modeladores y responsables políticos sobre cómo mejorar la representación de esta tecnología en los modelos y cómo garantizar que la fabricación e instalación de PV pueda aumentar a tiempo para seguir una senda de descarbonización compatible con el Acuerdo de París.	
Palabras claves: Cost reduction; Decarbonization; CO ₂ emissions; Cost competitive; Fast learning; Integrated assessment models; Learning rates; Partial equilibrium model; Policy makers; Solar photovoltaics; Engineering education; cost; innovation; installation; integrated pest management; land use; learning; manufacturing; material culture; photovoltaic system; pipeline; solar power; sustainability	
Interpretación personal: El autor adopta una postura favorable hacia la energía solar fotovoltaica al considerarla una tecnología altamente competitiva en términos de costos y lista para contribuir de manera sustancial a la mitigación de las emisiones de CO ₂ . También identifica la necesidad de mejorar la representación de esta tecnología en los modelos y asegurar que la fabricación e instalación de paneles solares pueda aumentar a tiempo para cumplir con los objetivos de la transición energética y la sostenibilidad. En términos generales, el autor respalda la energía solar fotovoltaica como una solución fundamental para abordar la transición energética y promover la sostenibilidad. Por otro lado, el autor no considera limitante la disponibilidad de los materiales necesarios para construir las celdas fotovoltaicas, ya que el silicio, uno de los materiales clave, es uno de	

los elementos más abundantes en la Tierra. Además, señala que con el tiempo se ha reducido el uso de la plata en estas tecnologías, siendo reemplazada por materiales más accesibles como el cobre o el aluminio.

FICHA DE LECTURA N°3

Título: An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry	Datos bibliográficos: (Zheng & Kammen, 2014)
País, Ciudad: Berkeley, United states	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: La industria solar fotovoltaica ha experimentado una evolución dramática en la última década, creciendo a una tasa promedio del 48 por ciento por año hasta alcanzar un tamaño de mercado global de 31 GW en 2012, y con el precio del módulo de PV de silicio cristalino tan bajo como \$0.72/W en septiembre de 2013. Para examinar esta evolución, construimos un conjunto de datos exhaustivo desde 2000 hasta 2012 para las industrias de PV en los Estados Unidos, China, Japón y Alemania, que utilizamos para desarrollar un modelo que explica la dinámica entre la innovación, la fabricación y el mercado. Se construye un modelo de aprendizaje de dos factores para hacer explícito el efecto de la innovación de las economías de escala. El crecimiento explosivo del pasado ha resultado en un problema de sobreoferta, que socava la efectividad de las políticas de "tirón de la demanda" que podrían impulsar la innovación. Para fortalecer la industria, encontramos que se necesita un cambio de política para equilibrar la emoción y el enfoque en las fuerzas del mercado con un compromiso mayor con la financiación de investigación y desarrollo. Utilizamos este trabajo para formular un conjunto de recomendaciones y una hoja de ruta que permitirá una próxima ola de innovación y, por lo tanto, un crecimiento sostenible de la industria de PV como una pieza clave de la economía energética global.</p>	
<p>Palabras claves: International trade; Photovoltaic cells; Crystalline silicon PV modules; Economies of scale; Learning curves; Photovoltaic; Photovoltaic industry; Research and development; Solar photovoltaics; Sustainable growth; Solar power generation; innovation; photovoltaic system; research and development; solar power; sustainable development; China; Germany; Japan; United States</p>	
<p>Interpretación personal: El autor respalda la transición energética y la sostenibilidad, explorando cómo la innovación puede hacer que la industria fotovoltaica sea sostenible. Ofrece recomendaciones para líderes públicos y privados y destaca la importancia de políticas a largo plazo. El autor enfatiza la necesidad de una industria económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente responsable. No menciona desventajas específicas, pero reconoce desafíos ambientales en la producción y eliminación de paneles solares. En resumen, la energía solar puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático</p>	

FICHA DE LECTURA N°4

Título: Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules	Datos bibliográficos: (Huang et al., 2017)
País, Ciudad: Tempe, United states	

RESUMEN DEL TEXTO: El artículo propone un proceso de reciclaje de módulos solares de silicio cristalino para abordar el problema del fin de vida útil de los mismos. El proceso consta de tres pasos para descomponer los módulos de silicio y recuperar diversos materiales, dejando casi nada para vertederos. Se presentan dos nuevas tecnologías que permiten el proceso de reciclaje propuesto: la electrorrefinación secuencial, que permite recuperar varios metales uno por uno de los módulos de silicio, Ag, Pb, Sn y Cu; y el monitoreo de la resistencia de la lámina, que maximiza la cantidad de silicio de grado solar recuperado de los módulos. La pureza de los metales recuperados supera el 99% y el silicio recuperado cumple con las especificaciones para el silicio de grado solar. Los materiales recuperados son nuevas materias primas para la industria solar y generan \$11-12.10/módulo en ingresos, lo que permite un negocio rentable de reciclaje de módulos solares de silicio sin ningún apoyo gubernamental. Los productos químicos utilizados en el proceso de reciclaje se seleccionan cuidadosamente para minimizar su impacto ambiental. Se propone una red para la recolección de módulos solares al final de su vida útil basada en la red de distribución actual para contener el costo de recolección. Como resultado, el proceso de reciclaje propuesto para los módulos solares de silicio cristalino es técnica, ambiental y financieramente sostenible.

Palabras claves: Environmental impact; Metal recovery; Recycling; Solar cell arrays; Current distribution; End of life managements; Government supports; Recycling process; Solar industries; Solar module; Solar technology; Three-step process; Silicon wafers; cost analysis; environmental impact; government; landfill; photovoltaic system; recycling; silicon; solar power; sustainability; technological change; technological development

Interpretación personal: El documento se centra en la implementación de un proceso de reciclaje sostenible para módulos solares de silicio, lo que sugiere la favorable posición del autor hacia la transición energética y la sostenibilidad. Además, se resalta que el reciclaje de estos módulos representa un desafío importante para la tecnología solar sostenible. El documento presenta un proceso de tres pasos para descomponer los módulos solares de silicio y recuperar diversos materiales, con el objetivo de reducir al mínimo los residuos destinados a vertederos. También se introducen dos nuevas tecnologías para facilitar la implementación de este proceso de reciclaje. En síntesis, la idea central del documento es proponer una solución sostenible para el reciclaje de módulos solares de silicio.

El autor no aborda desventajas específicas de la energía fotovoltaica en sí misma, sino que se enfoca en el desafío del reciclaje de los módulos solares de silicio al final de su vida útil. Se destaca que este reciclaje representa un obstáculo importante para la tecnología solar sostenible, ya que se anticipa un aumento significativo en la cantidad de residuos de módulos solares en las próximas décadas. Sin embargo, el autor presenta un proceso de reciclaje sostenible como una solución para hacer que la tecnología solar sea más sostenible. Además, se proporcionan datos sobre la producción y la participación de mercado de los módulos de silicio wafer-Si en 2015, así como una proyección de la creciente cantidad de residuos de módulos solares hasta el año 2050, que alcanzaría un total de 78 millones de toneladas.

FICHA DE LECTURA N°5	
Título: Beyond technology and finance: pay-as-you-go sustainable energy access and theories of social change	Datos bibliográficos: (Rolffs et al., 2015)
País, Ciudad: Sussex, Reino unido	
RESUMEN DEL TEXTO: Este artículo se enfoca en analizar el potencial de nuevos enfoques móviles y de pago por uso para financiar el acceso sostenible a la energía en África subsahariana, con un enfoque específico en los sistemas solares domésticos en Kenia. El autor argumenta que la literatura existente sobre el acceso sostenible a la energía no ha tomado en cuenta adecuadamente las consideraciones socioculturales y políticas y que se necesita una nueva agenda de investigación que tenga en cuenta las teorías del cambio social. El autor sostiene que la consideración de los factores socioculturales es esencial para evaluar el éxito de cualquier intervención financiera o tecnológica en el acceso sostenible a la energía, y que los nuevos enfoques de financiación basados en el pago por uso se alinean mejor con las prácticas socioculturales existentes de pago de energía en la región. En general, el artículo llama a una evaluación más cuidadosa y holística de los factores socioculturales y políticos en la planificación y ejecución de programas de acceso a la energía en África subsahariana.	
Palabras claves: cultural tradition; energy policy; energy use; finance; photovoltaic system; social change; solar power; sustainability; technological development; United Nations; Kenya	
Interpretación personal: La postura del autor es favorable a la transición energética y la sostenibilidad. Argumenta que es necesario adoptar un enfoque más amplio y multidimensional para abordar el acceso a la energía sostenible. Esto debe incluir consideraciones socioculturales y políticas, además de factores financieros y tecnológicos.	
El autor también resalta la importancia de los enfoques de financiamiento basados en "Paga lo que consumes" o similares, en contraposición a un sistema que requiera un pago inicial elevado. Esto, según el autor, mejoraría el acceso a la energía sostenible en áreas rurales de países en desarrollo. El autor aboga por una perspectiva más completa y sostenible para abordar la cuestión del acceso a la energía en el contexto de la transición energética.	

FICHA DE LECTURA N°6	
Título: Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities	Datos bibliográficos: (Aberilla et al., 2020)
País, Ciudad: Manchester, Reino unido; Quezon, Filipinas;	

RESUMEN DEL TEXTO: Los sistemas de energía renovable fuera de la red a pequeña escala se utilizan cada vez más para la electrificación rural, comúnmente como sistemas autónomos para el hogar o micro-redes comunitarias. Con la variedad de tecnologías y configuraciones disponibles, no está claro qué opciones son sostenibles para las comunidades remotas. Este estudio investiga la sostenibilidad ambiental del ciclo de vida tanto de instalaciones para el hogar como comunitarias, diseñadas como parte de este trabajo, que utilizan recursos de diesel, solar y vientos acoplados con almacenamiento de baterías. Se han diseñado y optimizado un total de 21 configuraciones de sistemas (seis sistemas para el hogar y 15 micro-redes) para una comunidad rural prototípica en Filipinas, considerando sistemas autónomos y híbridos. Se ha llevado a cabo una evaluación del ciclo de vida (LCA) considerando 18 posibles categorías de impacto para comparar los impactos ambientales asociados con la producción de electricidad de cada opción. A nivel de hogar, los sistemas híbridos de energía solar fotovoltaica (PV) y viento con almacenamiento tienen un 17-40% menos de impacto que las instalaciones autónomas equivalentes por kWh generado. Las baterías son un punto crítico ambiental, causando hasta el 88% de los impactos del ciclo de vida de un sistema de energía doméstica. Entre las opciones de micro-redes comunitarias, el sistema híbrido de energía solar fotovoltaica-viento-batería de plomo tiene los impactos más bajos en muchas categorías, incluido el cambio climático, la depleción de la capa de ozono y la acidificación. Comparando arquitecturas equivalentes para instalaciones individuales y a escala comunitaria, los sistemas de energía solar fotovoltaica son más sostenibles ambientalmente si se instalan individualmente en hogares, mientras que las turbinas más grandes en las micro-redes comunitarias son mejores para la utilización del viento. Los resultados sugieren que un sistema de energía solar fotovoltaica a escala de hogar integrado en una micro-red con turbinas eólicas a escala comunitaria y baterías de iones de litio es la configuración más sostenible ambientalmente.

Palabras claves: cultural tradition; energy policy; energy use; finance; photovoltaic system; social change; solar power; sustainability; technological development; United Nations; Kenya

Interpretación personal: En el documento, la idea principal es proporcionar información sobre el diseño y la evaluación de la sostenibilidad ambiental de sistemas de energía fuera de la red a pequeña escala destinados a comunidades rurales remotas. Se resaltan los beneficios de la utilización de almacenamiento de baterías y la hibridación de sistemas de energía solar fotovoltaica y eólica en la creación de sistemas energéticos sostenibles y eficientes. Aunque el autor no señala desventajas específicas relacionadas con la sostenibilidad de la energía fotovoltaica, el documento hace hincapié en que las baterías representan un punto crítico en términos de impacto ambiental en sistemas energéticos domiciliarios y comunitarios. Además, se sugiere que la instalación de turbinas eólicas más grandes en micro-redes comunitarias es más sostenible desde una perspectiva ambiental que la instalación de turbinas eólicas más pequeñas en sistemas de energía domésticos. Aunque no se menciona un problema específico relacionado con la fabricación en masa de paneles solares, se destaca que la producción de paneles solares y otros componentes de sistemas de energía renovable conlleva un significativo impacto ambiental, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y otros aspectos ambientales. Además, se subraya que la producción de acero inoxidable para la

instalación de paneles solares puede generar emisiones de carbono, lo que puede contribuir a impactos ambientales negativos.

FICHA DE LECTURA N°7

Título: Sustainability of off-grid photovoltaic systems for rural electrification in developing countries: A review

Datos bibliográficos: (Feron, 2016)

País, Ciudad: Santiago, Chile; Lüneburg, Alemania

RESUMEN DEL TEXTO: Se realizó una revisión sobre programas y proyectos de electrificación rural basados en sistemas fotovoltaicos (PV) descentralizados, incluyendo sistemas solares pequeños (SPS) y sistemas solares domésticos (SHS) en países en desarrollo (DCs). El objetivo fue destacar las principales limitaciones multidimensionales que pueden obstaculizar la sostenibilidad de estos sistemas. En esta revisión se consideraron cuatro dimensiones de la sostenibilidad (institucional, económica, ambiental y socio-cultural). Se encontró que las fallas institucionales (como la escasez de durabilidad/estabilidad y el cumplimiento de instituciones formales, la falta de regulaciones o estándares adecuados, la descentralización/participación incompleta y la falta de adaptabilidad institucional) comprometen seriamente la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en DCs. Mientras que la falta de un esquema de subsidio enfocado y efectivo (por ejemplo, un esquema cruzado de tarifas) para las tarifas de electricidad de la población pobre a menudo hace que los proyectos sean económicamente insostenibles, la escasez de conciencia ambiental, regulaciones o incentivos a menudo convierte a las tecnologías de energía limpia en proyectos ambientalmente insostenibles. Se necesita progreso en cuanto a aceptación social, precisión y justicia cultural para garantizar la sostenibilidad sociocultural de los esfuerzos de electrificación rural en DCs. Esta revisión puede ayudar a los interesados a identificar y abordar (basándose en experiencias previas) las limitaciones más graves que afectan la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en DCs.

Palabras claves: developing world; electricity supply; photovoltaic system; rural area; smart grid; stakeholder; sustainability

Interpretación personal: El autor se enfoca en explorar los factores que influyen en la sostenibilidad de sistemas fotovoltaicos en áreas rurales de países en desarrollo, sin proporcionar una visión general sobre transición energética y sostenibilidad en su conjunto. Categoriza los problemas en cuatro áreas: institucional, económica, ambiental y socio-cultural. Destaca desafíos como la falta de políticas claras y altos costos iniciales. Además, menciona la necesidad de políticas para el reciclaje adecuado de paneles solares. En resumen, el autor busca proporcionar información útil para la toma de decisiones en el desarrollo sostenible de energía en áreas rurales de países en desarrollo.

FICHA DE LECTURA N°8

Título: Environmental impacts of microgeneration: Integrating solar PV, Stirling engine CHP and battery storage	Datos bibliográficos: (Balcombe et al., 2015)
País, Ciudad: Manchester, Reino unido	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Un rápido aumento en la adopción de paneles solares fotovoltaicos en hogares ha causado preocupaciones con respecto a la exportación intermitente de electricidad a la red y los problemas de equilibrio relacionados. Un sistema de microgeneración que combina paneles solares fotovoltaicos, una planta combinada de calor y energía (CHP) y almacenamiento de baterías podría mitigar estos problemas mientras mejora potencialmente la autosuficiencia energética del hogar. Esta investigación examina si esto también podría conducir a impactos ambientales más bajos en comparación con el suministro convencional de electricidad y calor. Se ha llevado a cabo una evaluación del ciclo de vida con el fin de simular la demanda diaria y estacional de energía de diferentes tipos de hogares. Los resultados sugieren que los impactos se reducen en un 35-100% en comparación con la electricidad de la red y el calor de las calderas de gas. La excepción es la disminución de elementos, que es 42 veces mayor debido al antimonio utilizado en la fabricación de baterías. Existe una gran variación en los impactos según la demanda energética del hogar, siendo el mayor consumo el que produce una reducción mucho mayor en los impactos en comparación con el suministro convencional. La ineficiencia de la CHP causada por la mala operación del usuario puede disminuir significativamente los beneficios ambientales del sistema. Por ejemplo, el potencial de calentamiento global aumenta en un 17%. Esto destaca la necesidad de información y capacitación para el consumidor a fin de garantizar el máximo beneficio ambiental de la micro generación. La selección adecuada del tamaño de la batería es esencial, y las baterías de 10-20 kWh proporcionan los mayores beneficios ambientales. Sin embargo, cualquier reducción en los impactos de almacenamiento de baterías depende en gran medida de las suposiciones para los créditos del sistema para la exportación de electricidad a la red. También se requiere una gestión efectiva de la operación de la batería para maximizar su vida útil. Una reducción de 10 a 5 años aumenta la disminución de elementos en un 45% y la acidificación en un 32%. El aumento del reciclaje de metales del 0% al 100% reduce los impactos del 46% al 179%. Si el 90% del antimonio se recicla, la disminución de elementos se reduce tres veces en comparación con el uso de antimonio virgen. Sin embargo, este impacto sigue siendo 12 veces mayor que el del sistema convencional debido al uso de otros metales en el sistema.</p>	
<p>Palabras claves: developing world; electricity supply; photovoltaic system; rural area; smart grid; stakeholder; sustainability</p>	
<p>Interpretación personal: El archivo PDF no ofrece una posición clara del autor sobre la transición a la energía sostenible. No obstante, un estudio de Paul Balcombe, Dan Rigby y Adisa Azapagic destaca que la combinación de paneles solares fotovoltaicos, sistemas CHP (Combined Heat and Power) con motor Stirling y almacenamiento de baterías puede reducir los impactos ambientales. Sin embargo, señala problemas como el potencial agotamiento de elementos en las baterías y la necesidad de una gestión eficiente de estas tecnologías. El estudio subraya la importancia de una operación adecuada del sistema para maximizar la sostenibilidad. Aunque no aborda los problemas de fabricación en masa de paneles solares, se reconoce que este proceso puede tener impactos ambientales,</p>	

pero también beneficios en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la promoción de fuentes de energía más sostenibles.

FICHA DE LECTURA N°9

Título: External benefit evaluation of renewable energy power in China for sustainability

País, Ciudad: Beijing, china; Ann Arbor, Estados unidos

Datos bibliográficos: (Zhao & Guo, 2015)

RESUMEN DEL TEXTO: El poder de energía renovable de China se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. La evaluación de los beneficios externos de la energía renovable puede proporcionar una referencia para que el gobierno chino establezca diversos objetivos de desarrollo y implemente políticas de apoyo diferenciadas para diferentes tipos de energía renovable, lo que puede promover su desarrollo sostenible. En este documento, se aplicó un método híbrido MCDM para evaluar los beneficios externos de la energía renovable en China. En primer lugar, se analizaron los impactos del acceso de la energía renovable a la red eléctrica para múltiples partes interesadas en el sistema eléctrico. En segundo lugar, se construyó un sistema de índices de evaluación de beneficios externos para la energía renovable a partir de factores económicos, sociales y ambientales, basados en el concepto de sostenibilidad. Luego, se presentó la teoría básica del método híbrido MCDM utilizado en este documento en dos partes: las calificaciones lingüísticas de superioridad y el método de ponderación de entropía para la determinación del peso del índice y el análisis de relación gris difusa para la clasificación de alternativas. Finalmente, se evaluaron los beneficios externos de la energía eólica, la energía solar fotovoltaica y la energía de biomasa. Tomando un sistema eléctrico regional como ejemplo, los resultados muestran que la energía fotovoltaica tiene el mayor beneficio externo, seguida de la energía eólica y la energía de biomasa. Por lo tanto, se deben implementar más políticas de apoyo a la energía fotovoltaica para promover el desarrollo armónico y sostenible de toda la industria de energía renovable.

Palabras claves: electrical power; energy policy; photovoltaic system; power generation; renewable resource; sustainable development; valuation; China

Interpretación personal: El texto analiza los impactos de la energía renovable en China desde una perspectiva de sostenibilidad y propone un enfoque híbrido para evaluar sus beneficios. La entropía se utiliza para determinar los pesos de los índices en la evaluación, mejorando la objetividad. Se reconoce que la energía fotovoltaica es beneficiosa pero que su construcción y operación pueden tener impactos negativos, que pueden mitigarse con políticas adecuadas. Las conclusiones resaltan la necesidad de evaluar los beneficios externos de la energía renovable, establecer políticas efectivas y la participación de múltiples actores para lograr un desarrollo sostenible en China.

FICHA DE LECTURA N°10

<p>Título: Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life</p>	<p>Datos bibliográficos: (Corcelli et al., 2018)</p>
<p>País, Ciudad: Napoles, Italia; Beijing, china.</p>	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: El resumen habla sobre la necesidad de evaluar los impactos ambientales del fin de vida útil de los paneles solares fotovoltaicos (PV) y la importancia de desarrollar procesos efectivos y sostenibles para su reciclaje. En particular, se describe un proceso de tratamiento térmico a pequeña escala para paneles solares de silicio cristalino, que tiene como objetivo separar las células fotovoltaicas del vidrio mediante la eliminación de la capa de EVA (acetato de etileno-vinilo). También se menciona que este proceso puede liberar componentes peligrosos como Cd, Pb y Cr en el medio ambiente, por lo que se requiere un manejo cuidadoso. El estudio evalúa dos escenarios diferentes de fin de vida útil de paneles solares de silicio cristalino y compara los impactos ambientales y económicos de la recuperación de materiales con el uso de materiales vírgenes. Los resultados muestran que el proceso de recuperación tiene un efecto positivo en todas las categorías de impacto ambiental evaluadas, especialmente en la eutrofización de agua dulce, toxicidad humana, acidificación terrestre y agotamiento de combustibles fósiles. Los principales beneficios ambientales provienen de la recuperación de aluminio y silicio. Además, el uso de materiales recuperados sugiere un beneficio potencial económico en función de los precios actuales del mercado.</p>	
<p>Palabras claves: Aluminum; Commerce; Crystalline materials; Energy conservation; Ethylene; Eutrophication; Heat treatment; Industrial research; Life cycle; Photovoltaic cells; Recycling; Silicon; Solar power generation; Supply chains; Sustainable development; Thermoplastic elastomers; Waste management; Crystalline silicon technology; End of life managements; Environmental benefits; Ethylene vinyl acetates; Life Cycle Assessment (LCA); Photovoltaic markets; Photovoltaic panels; Public research institute; Silicon compounds; comparative study; electricity supply; environmental indicator; life cycle analysis; photovoltaic system; power plant; recovery; recycling; savings; supply chain management; sustainability; urban area</p>	
<p>Interpretación personal: La idea principal del documento se centra en el análisis de la viabilidad y sostenibilidad de la energía fotovoltaica en comparación con la energía convencional, además de abordar la gestión del fin de vida útil de los módulos fotovoltaicos. El texto proporciona información y análisis acerca de los desafíos y oportunidades relacionados con la energía fotovoltaica, destacando la necesidad de desarrollar procesos efectivos y sostenibles para hacer frente al creciente número de paneles fotovoltaicos que llegan al final de su vida útil, así como la importancia de evaluar los impactos ambientales de este proceso. En resumen, el documento se enfoca en la sostenibilidad de la energía fotovoltaica y su papel crucial en la transición hacia un futuro más sostenible. No se menciona un problema específico en la fabricación a gran escala de paneles solares, sino que el autor resalta la importancia de mejorar la eficiencia y competitividad de la tecnología fotovoltaica para que sea más atractiva en comparación con las plantas de energía convencionales. Asimismo, se enfatiza la necesidad de abordar los desafíos relacionados con el final de vida útil de los paneles, incluyendo la gestión de</p>	

residuos y la evaluación de impactos ambientales. En general, el documento presenta a la energía fotovoltaica como una tecnología prometedora y sostenible, mientras subraya la importancia de abordar los desafíos vinculados a todo su ciclo de vida para maximizar su sostenibilidad.

FICHA DE LECTURA N°11

Título: Economic analysis of a photovoltaic system: A resource for residential households	Datos bibliográficos: (Cucchiella et al., 2017)
--	--

País, Ciudad: L'Aquila, Italia.

RESUMEN DEL TEXTO: En 2016, la capacidad anual de energía solar fotovoltaica (PV) instalada fue de 76,1 GW (+49%), alcanzando un total de 305 GW en todo el mundo. Las fuentes de energía PV pueden lograr una mayor independencia energética, abordar el cambio climático y promover oportunidades económicas. Este trabajo propone un análisis económico basado en indicadores conocidos: Valor Presente Neto (VPN), Tiempo de Retorno Descontado (TRD) y Costo Nivelado de Electricidad (LCOE). Se evalúan varios estudios de caso para hogares residenciales. Están basados en tres variables críticas: tamaño de la planta (1, 2, 3, 4, 5 y 6 kW), niveles de insolación (1350, 1450 y 1550 kWh/(m²xy)) y porcentaje de autoconsumo (30%, 40% y 50%). La rentabilidad se verifica en todos los estudios de caso examinados en este trabajo. El papel del autoconsumo, que es la armonización entre la energía demandada y producida, es estratégico en un mercado maduro para mejorar el rendimiento financiero. Un análisis de sensibilidad, basado en precios de compra y venta de electricidad (variables críticas), confirma estos resultados positivos. La reducción de las emisiones de dióxido de carbono (ERcd) significa una mejora ambiental cuando se utiliza un sistema PV como alternativa a una mezcla de combustibles fósiles. Finalmente, se examina una propuesta de política basada en una deducción fiscal del 50% fijando el período de deducción igual a 5 años.

Palabras claves: Carbon dioxide; Climate change; Fossil fuels; Housing; Photovoltaic cells; Sensitivity analysis; Solar power generation; Sustainable development; Economic opportunities; Energy; Environmental improvements; Financial performance; Levelized cost of electricities; Photovoltaic; Residential households; Residential sectors; Economic analysis

Interpretación personal: El autor apoya la transición energética y la sostenibilidad, destacando la importancia de la energía solar fotovoltaica. Se ha realizado un análisis económico que muestra que esta fuente es rentable en el sector residencial. Aunque existen desafíos, como la intermitencia y la reducción de subsidios, el autor enfatiza que la energía solar fotovoltaica sigue siendo una fuente importante y rentable de energía renovable. Además, se resalta la necesidad de implementar políticas sostenibles para minimizar el impacto ambiental y avanzar hacia una economía baja en carbono para abordar el cambio climático.

FICHA DE LECTURA N°12

Título: Solar photovoltaic development in Australia-a life cycle sustainability assessment study	Datos bibliográficos: (M. Yu & Halog, 2015)
País, Ciudad: Graz y Brisbane, Australia.	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Este abstract presenta un estudio de evaluación de sostenibilidad de un sistema solar fotovoltaico (PV) en Australia. El estudio se enfoca en la instalación UQ Solar, una matriz solar de 1,2 MW montada en un techo plano. El objetivo es evaluar si la energía solar PV es una opción sostenible para la transición energética de Australia a nivel de proyecto.</p> <p>El estudio concluye que las instalaciones de PV a gran escala pueden ser sostenibles en Australia, pero se deben cumplir ciertas condiciones. Los fabricantes de paneles solares deberían reducir el uso de materiales peligrosos, y se debe prestar atención al tratamiento de los paneles al final de su vida útil. El gobierno debería brindar más incentivos e infraestructuras para apoyar la implementación de instalaciones de PV a gran escala y eliminar gradualmente las subvenciones sustanciales para las centrales eléctricas de combustibles fósiles. También se necesitan más actividades de concientización y capacitación para promover la aceptación social de la energía solar.</p>	
<p>Palabras claves: cost-benefit analysis; energy use; environmental economics; life cycle analysis; photovoltaic system; solar power; solar radiation; sustainable development; Australia</p>	
<p>Interpretación personal: El estudio evalúa la sostenibilidad de la energía solar fotovoltaica en Australia, específicamente en el caso de UQ Solar. Aunque el autor no toma una posición clara a favor o en contra de la transición energética y la sostenibilidad, se enfoca en presentar los resultados de la evaluación. Se identifican problemas ambientales, económicos y sociales, como emisiones de contaminantes, falta de incentivos y conciencia limitada. Se proponen soluciones como reducir materiales tóxicos y promover la conciencia. En resumen, el documento busca mejorar la sostenibilidad de la energía solar en Australia mediante la identificación de problemas y soluciones.</p>	

FICHA DE LECTURA N°13	
Título: Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted PV installations	Datos bibliográficos: (Beylot et al., 2014)
País, Ciudad:	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Este estudio caracteriza el desempeño ambiental de instalaciones de energía solar fotovoltaica a gran escala en el suelo mediante un enfoque de ciclo de vida. La metodología se basa en la aplicación de las normas internacionales existentes de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés). Se comparan cuatro escenarios, considerando estructuras de montaje fijo con (1) soportes de aluminio primario o (2) soportes de madera, y estructuras móviles con (3) seguidores de un solo eje o (4) seguidores de doble eje. Los inventarios del ciclo de vida se basan en datos de los fabricantes combinados con cálculos y suposiciones adicionales. Las instalaciones de montaje fijo con soportes de aluminio primario muestran el mayor potencial de impacto ambiental en términos de salud humana, cambio climático y consumo de energía. El</p>	

potencial de impacto en el cambio climático varía entre 37,5 y 53,5 gCO₂eq/kWh dependiendo del escenario, asumiendo 1700 kWh/m²yr de irradiación en un plano inclinado (30°) y módulos de silicio multicristalino con un rendimiento de producción de energía del 14%. Las instalaciones móviles de energía solar fotovoltaica con seguidores de doble eje muestran el mayor potencial de impacto en la calidad del ecosistema, con una diferencia de más de un factor 2 con otras instalaciones consideradas. La masa y composición de los soportes, la densidad de potencia (en MWp/acre de terreno) y el rendimiento de producción de energía parecen ser parámetros clave de diseño con respecto al desempeño ambiental de las instalaciones de energía solar fotovoltaica a gran escala en el suelo, además de los insumos de energía en el proceso de fabricación de los módulos

Palabras claves: Aluminum; Artificial life; Climate change; Energy utilization; Environmental management; Installation; Life cycle; Manufacture; Mountings; Climate change impact; Environmental performance; International standards; Key design parameters; Life Cycle Assessment (LCA); Manufacturing process; Multi-crystalline silicon; PV installations; Environmental impact; alternative energy; aluminum; design method; environmental impact; environmental quality; life cycle analysis; parameterization; photovoltaic system; power generation; renewable resource; silicon; solar power

Interpretación personal: El documento se caracteriza por su enfoque imparcial en lugar de expresar una opinión definida a favor o en contra de la transición energética y la sostenibilidad. Su objetivo principal radica en proporcionar información objetiva y valiosa para respaldar decisiones informadas en el futuro. Reconoce la energía solar como una fuente renovable con el potencial de reducir considerablemente los impactos ambientales en comparación con las fuentes no renovables. No obstante, resalta que la selección de tecnología y estructura de apoyo son determinantes cruciales en el rendimiento ambiental de las instalaciones solares a gran escala, subrayando la importancia de una evaluación meticulosa.

FICHA DE LECTURA N°14

Título: The photovoltaic industry on the path to a sustainable future - Environmental and occupational health issues

Datos bibliográficos: (Bakhiyi et al., 2014)

País, Ciudad: Montreal, Canada

RESUMEN DEL TEXTO: El abstract menciona que, aunque la energía solar fotovoltaica es considerada como una fuente de energía limpia y sostenible, la industria fotovoltaica también puede presentar riesgos para el medio ambiente y la salud humana debido al uso de sustancias potencialmente tóxicas en los procesos de fabricación. El objetivo del artículo es analizar el perfil de la industria fotovoltaica para identificar preocupaciones ambientales y de salud actuales y emergentes. Se realiza una revisión de evaluaciones del ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos en relación con el estado actual de la industria y sus perspectivas de desarrollo. Se identifican déficits de información en algunos indicadores del ciclo de vida y los impactos ambientales, así como en los datos toxicológicos y los estudios de exposición a diferentes riesgos químicos y físicos en los

trabajadores de la industria. Se enfatiza la necesidad de un enfoque integral de salud y seguridad ocupacional para lograr un equilibrio óptimo con la sostenibilidad. Se sugiere que los fabricantes deben colaborar activamente con los trabajadores, investigadores y agencias gubernamentales para mejorar la investigación y las regulaciones, implementar la gestión preventiva de riesgos laborales y asumir una mayor responsabilidad en el ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos. En resumen, el artículo destaca la necesidad de abordar las preocupaciones de salud y ambientales en la industria fotovoltaica para garantizar que los beneficios actuales de esta tecnología sostenible no se vean comprometidos.

Palabras claves: Chemical hazards; Environmental impact; Greenhouse gases; Hazardous materials; Human resource management; Indicators (chemical); Industrial hygiene; Life cycle; Photovoltaic cells; Risk management; Solar energy; Accident prevention; Chemical hazards; Environmental impact; Fossil fuels; Gas emissions; Greenhouse gases; Hazardous materials; Health; Health risks; Human resource management; Indicators (chemical); Industrial hygiene; Life cycle; Manufacture; Occupational risks; Petroleum prospecting; Photovoltaic cells; Risk management; Solar energy; Solar power generation; Government agencies; Incomplete information; Life cycle analysis; Manufacturing process; Occupational health; Occupational health and safety; Photovoltaic industry; Photovoltaic systems; Sustainable development; Sustainable development; emission control; environmental issue; health and safety; health risk; life cycle analysis; occupational exposure; photovoltaic system; risk assessment; sustainable development; environmental impact assessment; health impact; solar power; sustainability; environmental impact; environmental sustainability; human; industry; life cycle assessment; occupational exposure; occupational hazard; occupational safety; photovoltaic industry; priority journal; responsibility; review; risk management; solar energy; sustainable development; carbon footprint; environmental exposure; environmental health; industrial worker; life cycle assessment; limit of detection; lung alveolus proteinosis; lung emphysema; nonhuman; occupational exposure; occupational health; Review; workplace; environment; forecasting; industry; safety; solar energy; trends; Environment; Forecasting; Humans; Industry; Occupational Exposure; Occupational Health; Safety; Solar Energy

Interpretación personal: La idea central del documento es resaltar las posibles implicaciones ambientales y de salud ocupacional vinculadas al rápido crecimiento de la industria fotovoltaica y su uso de sustancias potencialmente peligrosas. Asimismo, se abordan soluciones y estrategias para abordar estos desafíos y avanzar hacia un futuro sostenible para la industria. Se subraya que la industria fotovoltaica emplea sustancias potencialmente tóxicas y procesos de fabricación que plantean problemas de salud y seguridad. También se mencionan los riesgos asociados con la disposición y el reciclaje de los componentes de los sistemas fotovoltaicos. El documento enfatiza la importancia de identificar, reconocer y evaluar los riesgos de salud y seguridad ocupacional a lo largo del ciclo de vida de esta industria, y de promover la investigación y el desarrollo mediante la adopción de un enfoque de química verde para reducir el manejo de sustancias potencialmente dañinas. En resumen, se enfatiza que se necesitan esfuerzos colaborativos entre fabricantes, trabajadores, científicos y autoridades gubernamentales para garantizar la sostenibilidad ambiental, de salud y económica de la energía solar fotovoltaica.

FICHA DE LECTURA N°15

Título: Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England

Datos bibliográficos: (Li et al., 2018)

País, Ciudad: Newcastle, Reino unido

RESUMEN DEL TEXTO: Este artículo presenta un modelo de evaluación de sostenibilidad integral que incluye enfoques de ciclo de vida y teoría de la sostenibilidad. El modelo evalúa la sostenibilidad en tres categorías: técnico-económico, ambiental y social, con un total de trece indicadores. Se demuestra la eficacia del modelo a través de su aplicación a un estudio de caso de la energía fotovoltaica solar en el noreste de Inglaterra. El estudio incluye tres tipos comunes de sistemas de generación de electricidad fotovoltaica: monocristalino (s-Si), policristalino (p-Si) y de lámina delgada de telururo de cadmio (CdTe). El sistema solar fotovoltaico de múltiples silicio es la opción más sostenible debido a su alto rendimiento en las categorías técnico-económico y ambiental. El sistema basado en CdTe es la opción menos favorecida en las tres categorías, mientras que el sistema policristalino tiene el mejor rendimiento en todas las categorías. La eficiencia de conversión de energía parece ser uno de los factores más influyentes en el rendimiento de sostenibilidad del sistema fotovoltaico solar. A pesar de ser el sistema menos costoso, el sistema CdTe parece ser la opción menos viable financieramente debido a su baja eficiencia de conversión de energía. El estudio también emplea métodos de cuantificación de impacto ambiental para validar los resultados. En general, este estudio proporciona información valiosa para la toma de decisiones sobre la selección de tecnologías fotovoltaicas sostenibles.

Palabras claves: Cadmium telluride; Conversion efficiency; Environmental impact; Environmental management; Environmental technology; Eutrophication; II-VI semiconductors; Life cycle; Photovoltaic cells; Silicon compounds; Solar energy; Solar power generation; Thin film solar cells; Energy technologies; Life Cycle Assessment (LCA); Regional sustainability; Solar photovoltaics; Sustainability assessment; Triple Bottom Line; Sustainable development; energy efficiency; environmental assessment; environmental impact assessment; environmental indicator; life cycle analysis; performance assessment; photovoltaic system; power generation; solar power; sustainability; technical efficiency; England; United Kingdom

Interpretación personal: La idea principal del documento se centra en la presentación de un modelo completo y sistemático para evaluar la sostenibilidad de la generación de energía fotovoltaica conectada a la red, abarcando factores tecnológicos, económicos, ambientales y sociales. Además, introduce un nuevo indicador de circularidad en las tecnologías energéticas y demuestra la aplicabilidad práctica de este modelo a través de un estudio de caso que involucra la implementación de tecnología fotovoltaica en la región noreste de Inglaterra.

La circularidad de las tecnologías energéticas se refiere a su capacidad para utilizar materiales y recursos de manera eficiente y sostenible a lo largo de su ciclo de vida. En otras palabras, una tecnología energética circular minimiza el uso de materiales y

recursos, reduce la generación de residuos y maximiza la reutilización y el reciclaje de materiales y recursos. En este contexto, el documento introduce un innovador indicador de circularidad que considera tanto la circularidad de los materiales como la circularidad del combustible utilizado en la generación de energía.

El autor no presenta desventajas específicas con respecto a la sostenibilidad de la energía fotovoltaica en sí misma. En cambio, el enfoque del documento es presentar un modelo completo y sistemático para evaluar la sostenibilidad de la generación de energía fotovoltaica conectada a la red, que puede ser aplicado a diversas tecnologías de generación de energía. Se subraya la importancia de considerar factores tecnológicos, económicos, ambientales y sociales en la evaluación de la sostenibilidad de la generación de energía, destacando la eficiencia de conversión de energía como uno de los factores más influyentes en el desempeño sostenible de los sistemas fotovoltaicos. En resumen, el documento se enfoca en proporcionar una evaluación integral y equilibrada de la sostenibilidad de la generación de energía fotovoltaica, en lugar de resaltar desventajas específicas de esta tecnología.

FICHA DE LECTURA N°16

Título: Environmental Impacts of Photovoltaics: The Effects of Technological Improvements and Transfer of Manufacturing from Europe to China	Datos bibliográficos: (Stamford & Azapagic, 2018)
País, Ciudad: Manchester, Reino Unido	

RESUMEN DEL TEXTO: La implementación de energía solar está expandiéndose rápidamente junto con mejoras en los procesos de fabricación y el rendimiento de la tecnología solar. Esta expansión ha coincidido con grandes reducciones de costos y un cambio en la fabricación hacia China, pero los efectos ambientales de estos desarrollos siguen siendo inciertos. Este estudio utiliza el análisis del ciclo de vida (ACV) para estimar los impactos ambientales de los sistemas fotovoltaicos (PV) basados en silicio instalados en dos ubicaciones: Reino Unido (RU) y España, en los años 2005 y 2015, para evaluar los cambios ocurridos en la última década. La fabricación se considera tanto en Europa como en China para analizar los efectos del mencionado cambio de mercado. Los resultados muestran que las mejoras tecnológicas han reducido los impactos ambientales en un promedio del 45%, que varía del 29% (eutrofización) al 80% (depleción de la capa de ozono); la huella de carbono se ha reducido aproximadamente a la mitad. Sin embargo, el cambio de fabricación hacia China ha aumentado los impactos ambientales en un promedio del 9-13% en relación con la fabricación en Europa. La acidificación es mucho mayor para los sistemas fabricados en China, anulando todo el progreso tecnológico logrado en la última década. Por lo tanto, los impactos futuros de los sistemas fotovoltaicos dependen en gran medida de las mejoras ambientales en la mezcla de energía china. Las tasas de aprendizaje para los impactos ambientales se estiman en un 6-26%, lo que lleva a reducciones de impacto esperadas del 8-34% para el año 2025, lo que devolvería los impactos de los sistemas fotovoltaicos fabricados en China a los niveles logrados actualmente por los sistemas fabricados en Europa.

Palabras claves: Carbon footprint; Climate change; Cost reduction; Eutrophication; Life cycle; Manufacture; Ozone layer; Photovoltaic effects; Solar energy; Solar power generation; Environmental improvements; Life Cycle Assessment (LCA); Manufacturing process; Ozone layer depletion; Photovoltaic systems; Photovoltaics; Technological improvements; Technological progress; Environmental impact

Interpretación personal: Como modelo de energía renovable, la energía fotovoltaica emerge como una alternativa prometedora a las fuentes de energía no renovable. Sin embargo, el autor destaca una carencia en la investigación actual: la mayoría de los estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) sobre la energía fotovoltaica tienden a enfocarse únicamente en el Potencial de Calentamiento Global (GWP) y/o el tiempo de retorno energético, pasando por alto otros impactos ambientales que regularmente se cuantifican en el ACV tradicional. Lo que es más, este enfoque es seguido por un número limitado de publicaciones y, en muchos casos, los resultados se presentan normalizados sin proporcionar los valores absolutos de los impactos. En consecuencia, el autor parece mantener una postura crítica hacia la falta de transparencia y la limitación en la perspectiva de investigación en el ámbito de la energía fotovoltaica.

Sin embargo, el autor sugiere que hay espacio para la mejora. Esto puede lograrse mediante avances tecnológicos y la implementación de políticas de diseño y adquisición más sostenibles, lo que ayudaría a reducir los impactos ambientales asociados con la energía fotovoltaica. En términos generales, el autor se muestra a favor de la energía fotovoltaica como una alternativa sostenible a las fuentes de energía no renovable, pero también subraya la necesidad de llevar a cabo investigaciones más amplias y transparentes que permitan una evaluación completa de su impacto ambiental.

En el documento principal, se explora en profundidad el tema de los impactos ambientales de la energía fotovoltaica, un sector de energía renovable en rápido crecimiento, y se examina cómo estos impactos han sido influenciados por la evolución tecnológica y la reubicación de la producción desde Europa a China. El enfoque principal del documento se centra en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la energía fotovoltaica, que evalúa exhaustivamente los efectos ambientales de esta fuente de energía a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la disposición de residuos. Además, el documento enfatiza la necesidad de investigaciones más exhaustivas y transparentes para evaluar adecuadamente el impacto ambiental de la energía fotovoltaica y proporcionar información sólida tanto a los responsables de políticas como a los consumidores.

Por otro lado, el autor resalta un hallazgo importante: la energía fotovoltaica puede tener impactos ambientales significativamente mayores en comparación con tecnologías convencionales de generación eléctrica, incluyendo la energía nuclear y el gas natural. Esto es especialmente notable en aspectos como la depleción de recursos abióticos (minerales extraídos de la corteza terrestre), pero también en términos de ecotoxicidad y toxicidad humana.

FICHA DE LECTURA N°17	
Título: Policies and measures for sustainable management of solar panel end-of-life in Italy	Datos bibliográficos: (Malandrino et al., 2017)
País, Ciudad: Salerno y Roma, Italia	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Este abstract se centra en la gestión del fin de vida (EoL) de los paneles solares fotovoltaicos (PV) y propone la "circularización" de la industria fotovoltaica mediante la aplicación del concepto de "Simbiosis del Ciclo de Vida" (LCS). Se discute la importancia de desarrollar métodos efectivos de gestión de EoL para prevenir la disposición de grandes volúmenes de residuos peligrosos en los vertederos, así como la importancia de ver los residuos de PV como una fuente potencial de materiales valiosos. El uso de tecnologías de procesamiento efectivas para aislar estos materiales puede ayudar a desviar los residuos de los vertederos y reducir la dependencia de los recursos vírgenes, mejorando la sostenibilidad económica.</p> <p>En resumen, el abstract argumenta la importancia de la gestión efectiva de los residuos de los paneles solares fotovoltaicos y propone la circularización de la industria fotovoltaica mediante la aplicación de LCS para aprovechar los materiales valiosos en los residuos y prevenir la disposición de grandes volúmenes de residuos peligrosos en los vertederos-</p>	
<p>Palabras claves: electricity generation; environmental economics; photovoltaic system; recycling; renewable resource; solar power; sustainability; technical efficiency; Italy</p>	
<p>Interpretación personal: El autor del documento aboga por la transición energética y la sostenibilidad, destacando las iniciativas para promover las energías renovables. El enfoque principal es la gestión sostenible de paneles solares obsoletos en Italia. Aunque la energía solar es amigable con el medio ambiente, su producción y eliminación pueden generar contaminación. Se sugiere mejorar el reciclaje de paneles solares para reducir el impacto ambiental. Las conclusiones enfatizan la necesidad de una gestión integral y sostenible para asegurar la viabilidad de la energía solar en Italia.</p>	

FICHA DE LECTURA N°18	
Título: Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway	Datos bibliográficos: (Gholami et al., 2020)
País, Ciudad: Stavanger, Noruega; Kowloon, Hong Kong	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: El resumen presenta un estudio de análisis de costos del ciclo de vida de la fachada fotovoltaica integrada en el edificio "Solsmaragden" en Noruega. El estudio se realizó utilizando datos de campo después de cuatro años de operación y considerando los beneficios de generación de energía, los beneficios ambientales y sociales, y las ganancias financieras asociadas a tres posibles enfoques de recuperación de materiales al final de la vida útil del sistema. Los resultados muestran que la fachada fotovoltaica integrada en el edificio no solo puede recuperar el costo de inversión, sino que también puede generar ingresos para el edificio en diferentes orientaciones de la piel del edificio. Además, se ilustra que la subvención otorgada cubre</p>	

sustancialmente los beneficios sociales y ambientales del proyecto. El artículo concluye que la fachada fotovoltaica integrada en el edificio es una solución rentable para generar energía y contribuir a la sostenibilidad en áreas urbanas densas.

Palabras claves: Cost accounting; Earnings; Economic and social effects; Energy conservation; Investments; Life cycle; Office buildings; Building-integrated photovoltaics; Commercial building; Environmental benefits; Field recorded data; Internal rate of return; Levelised cost of energies; Life-cycle cost analysis; The net present value (NPV); Cost benefit analysis; building; cost analysis; energy efficiency; life cycle analysis; photovoltaic system; power generation; urban area; Norway

Interpretación personal: La idea principal del documento es realizar un análisis del ciclo de vida de fachadas fotovoltaicas integradas en edificios (BIPV) utilizando el caso de estudio de Solsmaragden en Noruega. El estudio explora los beneficios ambientales y sociales de las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios, así como su viabilidad económica en comparación con materiales de envolvente de edificios tradicionales. En resumen, el documento busca demostrar que las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios son una opción viable y sostenible para la transición energética.

Según el documento, las ventajas de utilizar fachadas fotovoltaicas integradas en edificios (BIPV) son las siguientes:

1. Generación de energía: Las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios pueden generar energía eléctrica a partir de la luz solar, lo que reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables.
2. Ahorro de espacio: Las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios pueden reemplazar materiales de envolvente de edificios tradicionales, lo que ahorra espacio y reduce la huella de carbono.
3. Beneficios ambientales y sociales: Las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad del aire y reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Además, pueden crear empleos y mejorar la economía local.
4. Viabilidad económica: Según el estudio de caso de Solsmaragden en Noruega, las fachadas fotovoltaicas integradas en edificios pueden ser una opción viable y rentable en comparación con materiales de envolvente de edificios tradicionales.

FICHA DE LECTURA N°19

Título: Exploiting existing dams for solar PV system installations	Datos bibliográficos: (Kougias et al., 2016)
País, Ciudad: Ispra, Italia	

RESUMEN DEL TEXTO: Reconociendo los problemas de escasez de tierra y crecientes preocupaciones por la protección de las tierras naturales, instaladores y desarrolladores de proyectos, con la ayuda de científicos e ingenieros, continuamente intentan ubicar lugares alternativos para la instalación de sistemas fotovoltaicos (PV). En el presente artículo se sugiere y analiza un enfoque novedoso: la instalación de sistemas solares PV en la cara aguas abajo de presas existentes. Este enfoque proporciona ventajas que podrían favorecer incluso sistemas de gran escala con una capacidad de varios MWp. En primer lugar, la energía producida podría cubrir las necesidades de los embalses de agua que apoyan procesos intensivos en energía, como el bombeo y tratamiento de agua de manera sostenible. Además, la provisión de energía a áreas habitadas cercanas a las presas y la posterior creación de mini redes independientes podrían mitigar la pobreza energética. En el caso de las presas hidroeléctricas, el sistema híbrido creado (PV-hidro) podría ser notablemente eficiente, ya que la energía solar intermitente se contrarrestaría con la flexibilidad de la energía hidroeléctrica. Por último, se encontró un número notable de embalses de agua existentes en África que están subutilizados o no tienen energía. Ese potencial de energía no explotado también se puede amplificar mediante la instalación de sistemas PV. El análisis incluyó la recopilación de datos de diversas fuentes. Los conjuntos de datos fueron verificados cruzadamente y ampliados en el modelo basado en SIG recién creado, lo que permitió la selección de los sitios más adecuados en Sudáfrica, tomados como estudios de caso. Después de su identificación, las presas seleccionadas fueron analizadas utilizando la herramienta PVGIS para estimar la producción de energía anual. Los resultados han sido muy alentadores, indicando que los sistemas PV en la cara de las presas son una opción ventajosa para la producción de energía renovable.

Palabras claves: Dams; Geographic information systems; Hybrid systems; Large scale systems; Reservoirs (water); Solar energy; Sustainable development; Water treatment; Annual energy productions; Energy access; Hybrid PV-hydro; Hydroelectric dams; Photovoltaic systems; Project developers; Renewable energies; Scientists and engineers; Hydroelectric power plants

Interpretación personal: El documento se centra en una propuesta innovadora para la producción de energía renovable y sostenible al aprovechar las caras aguas abajo de presas existentes para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos. Esta propuesta es aplicable tanto a presas con generación de energía hidroeléctrica como a aquellas sin generación de energía. El texto detalla cómo se seleccionaron las ubicaciones óptimas en Sudáfrica para esta instalación y resalta su potencial para la producción de energía renovable en toda África subsahariana.

Estas ventajas incluyen la utilización de infraestructuras previas, reduciendo costos y el impacto ambiental. Además, se contribuye a la producción de energía renovable y sostenible, fundamental para la transición energética y la reducción de emisiones. Esto se complementa con la optimización de superficies previamente infrautilizadas, lo que, en el caso de presas con generación hidroeléctrica, permite operar sistemas híbridos eficientes. Para presas sin generación de energía, esta instalación reduce la dependencia energética y facilita la operación de sistemas de bombeo.

<p>Título: Innovations in financing that drive cost parity for long-term electricity sustainability: An assessment of Italy, Europe's fastest growing solar photovoltaic market</p>	<p>Datos bibliográficos: (Ameli & Kammen, 2014)</p>
<p>País, Ciudad:</p>	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Los programas de subsidio, como las tarifas de alimentación, diseñados para hacer que las tecnologías renovables sean competitivas en costos con los combustibles fósiles en la generación de electricidad, han sido efectivos en varias naciones. Sin embargo, estos subsidios pueden resultar muy costosos y plantean preguntas sobre si existen condiciones justas para la competencia entre diferentes fuentes de energía. Como resultado, incluso los programas efectivos enfrentan un futuro incierto, como han demostrado los cambios en el apoyo político después de las crisis financieras en Europa y Estados Unidos. En el caso de la energía solar fotovoltaica, las reducciones de costos resultantes de los esquemas de expansión del mercado y la reducción general en el precio de las células fotovoltaicas han sido significativas, especialmente en la última década. Sin embargo, aún han dejado la energía solar hasta un 50% más cara que las opciones convencionales. Como alternativa, en este artículo describimos una herramienta de financiamiento basada en una metodología de reducción de la contaminación. Al desarrollar este marco de costo nivelado de electricidad, construimos una metodología para examinar y luego utilizar los costos sociales e impactos de las tecnologías de generación de energía. Descubrimos que, como un medio para reducir la brecha de costo entre los procesos actuales de energía convencional y la energía solar minorista, un programa basado en un préstamo de energía limpia evaluado por la propiedad (PACE) sería, a corto plazo, una herramienta efectiva para acelerar la paridad de red entre la energía solar y la generación de energía convencional, y a largo plazo proporciona una alternativa teórica y financieramente sólida a los incentivos basados en subsidios.</p>	
<p>Palabras claves: Commerce; Costs; Finance; Fossil fuels; Photoelectrochemical cells; Photovoltaic cells; Solar concentrators; Solar power generation; Different energy sources; Financing schemes; Grid parities; Levelized cost of electricities; Levelized costs; Property assessed clean energies (PACE); Solar photovoltaic energies; Solar photovoltaics; Solar energy; alternative energy; electricity generation; energy market; energy resource; innovation; photovoltaic system; renewable resource; solar power; sustainability; technology adoption; Italy</p>	
<p>Interpretación personal: El texto se centra en la evaluación de Italia en su camino hacia la paridad de costos y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles mediante energías renovables. También destaca los desafíos en un entorno político y financiero incierto y presenta un programa de préstamos llamado PACE como una solución financiera innovadora. El autor apoya la transición hacia la energía sostenible y sugiere que nuevos enfoques de financiamiento pueden ser clave para acelerar la paridad de precios entre la energía solar y las fuentes convencionales. Se enfatiza la importancia de un marco regulador estable, la cooperación público-privada, la transparencia en la información y la educación pública. No se mencionan desventajas específicas de la energía fotovoltaica en sí misma.</p>	

FICHA DE LECTURA N°21	
Título: Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning	Datos bibliográficos: (Lema et al., 2018)
País, Ciudad: Aalborg, Dinamarca	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: Este artículo discute las perspectivas para el desarrollo de capacidades de producción e innovación que surgen de los esfuerzos de electrificación renovable. La discusión se ubica en la intersección de varias literaturas dentro de los estudios de innovación y los estudios de desarrollo, por lo que requiere una combinación de ideas de varios campos de estudio académicos. El documento se centra en las relaciones de cadena de valor y el aprendizaje interactivo. Dado que este es un terreno en gran medida inexplorado, el documento busca proporcionar un marco conceptual basado en conocimientos de la literatura y discute si las relaciones dentro del Sur global ofrecen ventajas específicas sobre las relaciones Norte-Sur. Luego, utiliza este marco conceptual para obtener ideas del caso de la electrificación renovable con energía eólica y solar fotovoltaica en Kenia. Concluye identificando las principales vías para promover el aprendizaje interactivo en este contexto.</p>	
<p>Palabras claves: Chains; Electric utilities; Industrial economics; Learning systems; Technology transfer; Capabilities; Development study; Global value chain; Industrialisation; Innovation capability; Innovation studies; Interactive learning; Renewable energies; Educational technology; alternative energy; electrification; identification key; industrialization; innovation; learning; photovoltaic system; solar power; sustainability; technology transfer; wind power; Kenya</p>	
<p>Interpretación personal: el autor destaca la importancia de la electrificación renovable para impulsar la producción local en países en desarrollo, respaldando la transición energética y la sostenibilidad. Se enfoca en las cadenas de valor y el aprendizaje interactivo en este contexto, utilizando estudios de casos en Kenia. A pesar de los desafíos, como la falta de financiamiento, se aboga por superarlos y aprovechar al máximo las oportunidades de la electrificación renovable. En resumen, se concluye que esta tecnología puede ser clave para el desarrollo sostenible en estos países, siempre que se implementen políticas y estrategias adecuadas.</p>	

FICHA DE LECTURA N°22	
Título: A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites	Datos bibliográficos: (Szabó et al., 2017)
País, Ciudad: Ispra, Italia; Szeged y Budapest, Hungría	

RESUMEN DEL TEXTO: La planificación urbana local se ha preocupado por el desarrollo de tecnologías de energía limpia en terrenos vírgenes que pueden conducir a la competencia en el uso del suelo. Los sistemas fotovoltaicos solares en terrenos agrícolas son un ejemplo indicativo de esta estrategia disputada. Al mismo tiempo, los vertederos cerrados y su gestión después del cierre plantean preocupaciones ambientales, económicas y de valor del suelo en las autoridades locales. En el presente trabajo se analiza el concepto de instalación de sistemas fotovoltaicos solares en vertederos cerrados. Esta práctica ya ha recibido atención y el presente artículo proporciona una visión general de las instalaciones existentes, así como una evaluación del potencial existente. Además, se presenta una metodología que geoanaliza los sitios cerrados, los evalúa de manera jerárquica y sugiere la tecnología fotovoltaica apropiada para cada sitio. La metodología se ha aplicado en Hungría y reveló que se podrían desplegar 450 MWp de energía solar en vertederos cerrados húngaros. Las proyecciones a nivel de la UE proporcionan estimaciones para que el potencial alcance alrededor de 13 GWp. Este enfoque puede convertirse en un instrumento líder en la planificación de políticas de sostenibilidad local y de abajo hacia arriba.

Palabras claves: Land use; Photovoltaic cells; Solar concentrators; Solar power generation; Sustainable development; Clean energy technology; Closed landfills; Closure managements; Industrial symbiosis; Local authorities; Solar photovoltaic system; Solar photovoltaics; Sustainability policy; Land fill

Interpretación personal: El autor apoya la transición energética y la sostenibilidad, proponiendo una metodología para aprovechar la energía solar en vertederos cerrados, promoviendo la energía limpia y utilizando la infraestructura existente. La idea principal es instalar sistemas fotovoltaicos solares en estos vertederos para maximizar beneficios ambientales y económicos. Además, se discuten desventajas de la energía solar, como el uso de recursos y la competencia con la agricultura. A pesar de ello, se enfatiza su contribución positiva en la transición hacia una energía sostenible. En conclusión, se argumenta que esta instalación es una opción atractiva y sostenible, reduciendo la necesidad de nuevas tierras y fomentando la gestión sostenible de los residuos, con un llamado a la planificación energética a largo plazo y la colaboración entre actores clave.

FICHA DE LECTURA N°23

Título: On the use of dynamic reliability for an accurate modelling of renewable power plants	Datos bibliográficos: (Chiacchio et al., 2018)
País, Ciudad:	

RESUMEN DEL TEXTO: Este abstract se refiere a las energías renovables como un elemento clave en el desarrollo sostenible moderno, y que juegan un papel fundamental en la reducción del impacto de las fuentes de combustibles fósiles y en la generación de energía en áreas remotas donde no se puede acceder a la red eléctrica. Sin embargo, debido a la naturaleza intermitente de la fuente de energía renovable, la evaluación de viabilidad, la evaluación de rendimiento y la gestión del ciclo de vida de una planta de energía renovable son actividades muy complejas. Para lograr una modelización del sistema más precisa, mejorar la predicción de productividad y planificar mejor las

actividades de gestión del ciclo de vida, el modelo de una planta renovable debe considerar no solo el proceso físico de transformación de energía, sino también la variabilidad estocástica de la fuente primaria y los mecanismos de degradación que afectan el envejecimiento de los componentes de la planta, lo que puede provocar la falla del sistema.

Palabras claves: Availability; Benchmarking; Degradation; Intelligent systems; Life cycle; Monte Carlo methods; Outages; Photovoltaic cells; Productivity; Stochastic systems; Feasibility assessment; Hybrid automaton; Key performance indicators; Performance evaluations; Photovoltaic power plant; Reliability engineering; Renewable energies; Service availability; Failure (mechanical); alternative energy; automation; design; methodology; modeling; Monte Carlo analysis; photovoltaic system; power plant; reliability analysis; service provision; simulation; stochasticity; sustainable development

Interpretación personal: el documento destaca la importancia de la confiabilidad dinámica en la mejora de la modelización y predicciones de la productividad en plantas de energía renovable. Se argumenta que los modelos tradicionales no son suficientes para abordar la variabilidad e incertidumbre de estas fuentes de energía, y se subraya la necesidad de considerar factores socioculturales, políticos y tecnológicos en la transición a energía sostenible. Aunque se resalta el papel crucial de las energías renovables, como la fotovoltaica, en el desarrollo sostenible, se reconoce que enfrentan desafíos en términos de eficiencia debido a su intermitencia y limitaciones en el almacenamiento de energía. La confiabilidad dinámica se presenta como una herramienta valiosa para abordar estos desafíos y mejorar la modelización del sistema y la productividad

FICHA DE LECTURA N°24

Título: The resources, energetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities

Datos bibliográficos: (Bartie et al., 2021)

País, Ciudad: Freiberg y Berlin y Munich y Düsseldorf, Alemania

RESUMEN DEL TEXTO: El abstract se refiere a la industria fotovoltaica, la cual ha mostrado un crecimiento vigoroso en la última década y continuará en su trayectoria para alcanzar una implementación a nivel de teravatio para 2022-2023 y un estimado de 4.5 TW para 2050. El objetivo principal actualmente es la reducción de costos, pero el crecimiento estará impulsado por el consumo de varios recursos, lo que traerá consigo pérdidas inevitables e impactos ambientales, económicos y sociales. Además, el fuerte crecimiento en la implementación irá acompañado de un aumento en los residuos, los cuales deben ser manejados para apoyar el Desarrollo Sostenible y la Economía Circular (CE). Se necesita un enfoque riguroso para cuantificar la eficiencia de recursos, circularidad y sostenibilidad de los complejos ciclos de vida de los paneles solares fotovoltaicos, y explorar oportunidades para mantener parcialmente el crecimiento de la industria mediante la recuperación de recursos secundarios de alta calidad. Para ello, se ha creado un gemelo digital de alta precisión del ciclo de vida de un panel solar de silicio mediante simulación de procesos. El modelo de simulación escalable y predictivo tiene en

cuenta las no linealidades del sistema incorporando los principios físicos y termoquímicos que rigen los procesos hasta el nivel de operación unitaria. Las funciones sustitutas basadas en redes neuronales se utilizan posteriormente para analizar la respuesta del sistema a variaciones en el reciclaje de fin de vida y del corte en términos de consumo de recursos primarios y energía, capacidad de generación de energía fotovoltaica y emisiones de CO₂. Aplicando la segunda ley de la termodinámica, se identifican oportunidades para mejorar la sostenibilidad de las operaciones unitarias, los procesos más grandes de los que son bloques de construcción y el sistema en su conjunto, y se destacan los límites técnicos de circularidad. Se muestran los efectos significativos que los cambios en la tecnología pueden tener en las conclusiones extraídas de tales análisis.

Palabras claves: Cost reduction; Digital twin; Economic and social effects; Predictive analytics; Secondary recovery; Silicon; Sustainable development; Thermodynamics; Environmental footprints; Photovoltaic industry; Predictive simulation modeling; Process simulations; PV power generation; Resource efficiencies; Second Law of Thermodynamics; Silicon photovoltaic; Solar power generation; silicon; artificial neural network; carbon emission; computer simulation; ecological footprint; environmental economics; exergy; numerical model; photovoltaic system; power generation; silicon; sustainability; Article; artificial neural network; carbon footprint; energy consumption; energy cost; environmental economics; environmental impact; environmental management; environmental protection; environmental sustainability; life cycle assessment; physical chemistry; process design; thermal analysis; thermodynamics

Interpretación personal: el documento destaca la importancia de la confiabilidad dinámica en la mejora de la modelización y predicciones de la productividad en plantas de energía renovable. Se argumenta que los modelos tradicionales no son suficientes para abordar la variabilidad e incertidumbre de estas fuentes de energía, y se subraya la necesidad de considerar factores socioculturales, políticos y tecnológicos en la transición a energía sostenible. Aunque se resalta el papel crucial de las energías renovables, como la fotovoltaica, en el desarrollo sostenible, se reconoce que enfrentan desafíos en términos de eficiencia debido a su intermitencia y limitaciones en el almacenamiento de energía. La confiabilidad dinámica se presenta como una herramienta valiosa para abordar estos desafíos y mejorar la modelización del sistema y la productividad.

FICHA DE LECTURA N°25

Título: Environmental and economic optima of solar home systems design: A combined LCA and LCC approach

País, Ciudad: Florencia y Siena, Italia; Berkeley, Estados Unidos

Datos bibliográficos: (Rossi et al., 2020)

RESUMEN DEL TEXTO: Este artículo se enfoca en comparar el diseño óptimo económico y ambiental de los sistemas solares para hogares (SHS, por sus siglas en inglés) y explora el papel de los incentivos económicos (como tarifas y costos tecnológicos) en la aproximación de las dos soluciones óptimas. El estudio presenta una metodología para la evaluación económica y ambiental de los SHS conectados a la red eléctrica, que involucran un sistema de energía fotovoltaica (PV) y un sistema de almacenamiento de energía en baterías. La metodología propuesta se basa en una optimización de programación lineal mixta entera (MILP, por sus siglas en inglés), un análisis del ciclo de vida y un análisis del costo del ciclo de vida. Se aplica a un caso de estudio que involucra una instalación típica de SHS en Italia.

Palabras claves: Costs; Ecodesign; Electric batteries; Environmental impact; Environmental technology; Integer programming; Life cycle; Optimal systems; Photovoltaic cells; Solar buildings; Battery energy storage systems; Battery technology; Economic evaluations; Economic incentive; Life Cycle Assessment (LCA); Methodological frameworks; Mixed-integer linear programming; Photovoltaic power systems; Electric power system economics; alternative energy; design; energy resource; environmental economics; environmental impact; photovoltaic system; residential energy; solar power; sustainability; tariff structure; article; economic evaluation; environmental impact; Italy; life cycle assessment; solar energy; system analysis; Italy

Interpretación personal: se enfoca en presentar una metodología para evaluar tanto los costos como los impactos ambientales de los sistemas solares para el hogar. Aunque el autor no expresa una opinión clara sobre la transición energética o la sostenibilidad en general, el texto destaca la utilidad de esta metodología. Esta herramienta combina la evaluación del ciclo de vida y el costo del ciclo de vida, permitiendo así la comparación de diversas configuraciones de sistemas solares residenciales. Esto puede ser invaluable para los diseñadores y planificadores al tomar decisiones informadas sobre la elección de tecnologías y la optimización de sistemas solares para viviendas. Además, se enfatiza que la continua disminución de los costos de baterías y paneles solares podría mejorar aún más la sostenibilidad de estos sistemas, y el autor sugiere que esta metodología podría respaldar la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y renovables.

FICHA DE LECTURA N°26

Título: Sustainability of rural electrification programs based on off-grid photovoltaic (PV) systems in Chile

País, Ciudad: Lüneburg, Alemania; Santiago, Chile.

Datos bibliográficos: (Feron et al., 2016b)

RESUMEN DEL TEXTO: "Antecedentes: Chile ha alcanzado una impresionante tasa de electrificación principalmente mediante la expansión de la red eléctrica. Sin embargo, debido a la inviabilidad de expandir la red a islas y zonas remotas del país, el gobierno comenzó a implementar programas de electrificación fuera de la red. En este artículo, evaluamos la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en Chile, prestando especial atención a los programas fotovoltaicos (PV) fuera de la red. Métodos: Nuestra evaluación de los esfuerzos de electrificación rural en Chile tiene en cuenta cuatro

dimensiones de sostenibilidad (institucional, económica, ambiental y sociocultural). Se basa en un extenso análisis cualitativo de documentos, complementado con entrevistas semiestructuradas a actores clave. Resultados: Descubrimos que, a pesar de varios proyectos piloto exitosos de PV fuera de la red, la implementación de soluciones PV fuera de la red para la electrificación rural se retrasó en comparación con el enorme potencial solar del país. Parte del problema es que se han tomado decisiones que favorecen otras tecnologías sin considerar los costos a lo largo de la vida útil y las co-impactos ambientales. Además, la aceptación social de las soluciones PV fuera de la red se ha visto seriamente comprometida debido a problemas relacionados con la precisión (los sistemas no podían satisfacer las necesidades del usuario) y la confiabilidad (los sistemas a menudo fallaban debido a la falta de estándares obligatorios y el mantenimiento incierto). Conclusiones: Aunque Chile ha realizado notables esfuerzos en electrificación durante los últimos 20 años, las comunidades indígenas aún tienen menos acceso a la electricidad. Esta disparidad es una gran desventaja que subraya la necesidad de ajustar el enfoque de electrificación adoptado por el Ministerio de Energía en la electrificación rural (lo que significa que las comunidades o las autoridades locales deben solicitar la electrificación en primer lugar). De hecho, este enfoque favorece a las comunidades mejor organizadas dejando atrás a otras, normalmente las comunidades indígenas más pobres. Además, se necesita un gran progreso en justicia cultural, equidad y conciencia ambiental para garantizar la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en Chile.

Palabras claves: Electric utilities; Environmental technology; Rural areas; Environmental awareness; Indigenous community; Off-grid electrification; Off-grids; Photovoltaic systems; Rural electrification; Semi structured interviews; Sustainable energy; Sustainable development; governance approach; photovoltaic system; public access; qualitative analysis; rural electrification; spatiotemporal analysis; stakeholder; sustainability; Chile

Interpretación personal: El autor muestra una perspectiva positiva hacia la transición energética y la sostenibilidad en Chile, destacando los esfuerzos del gobierno en la electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, se señalan desafíos relacionados con la sostenibilidad y la falta de acceso de las comunidades indígenas. Se identifican problemas en la implementación de proyectos fotovoltaicos rurales, como la falta de recursos y estándares, y se sugiere ajustar el enfoque para incluir a todas las comunidades.

FICHA DE LECTURA N°27

Título: Rural electrification efforts based on off-grid photovoltaic systems in the Andean Region: Comparative assessment of their sustainability

País, Ciudad: Lüneburg, Alemania; Santiago y Valparaíso, Chile;

Datos bibliográficos: (Feron et al., 2017)

RESUMEN DEL TEXTO: En este artículo, evaluamos comparativamente la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural basados en soluciones fuera de la red en Chile, Ecuador y Perú. Nuestra evaluación considera cuatro dimensiones de sostenibilidad (institucional, económica, ambiental y sociocultural). Encontramos que Ecuador y Chile han fallado consistentemente en garantizar mecanismos para la operación y mantenimiento de los sistemas fuera de la red implementados, lo que ha hecho que estas soluciones en las comunidades pobres de Chile y Ecuador sean inevitablemente insostenibles. Aunque Perú ha adoptado un esquema de tarifas cruzadas, el caso peruano muestra que garantizar la financiación de soluciones fotovoltaicas fuera de la red no es suficiente. Los funcionarios peruanos parecen ser inconscientes de la importancia de la participación local (los valores y estilos de vida locales son constantemente ignorados) y la mayoría de los proyectos han sido diseñados sin la participación y el compromiso de las comunidades, lo que a menudo ha llevado a fracasos y a incumplimientos de pago. Sin embargo, aunque cada país tiene sus desafíos particulares, encontramos que los tres países andinos han descuidado consistentemente la importancia de instituciones formales sólidas con una estructura flexible y descentralizada, lo que a su vez ha comprometido significativamente el esfuerzo de electrificación rural en estos países.

Palabras claves: assessment method; comparative study; developing world; local participation; photovoltaic system; rural electrification; sustainability; Andes; Chile; Ecuador; Peru

Interpretación personal: El autor analiza la sostenibilidad de la electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos en la región andina, considerando aspectos institucionales, económicos, ambientales y socioculturales. Destaca la necesidad de un enfoque integral y comparte ejemplos de proyectos exitosos. Aunque no menciona desventajas de la energía fotovoltaica, resalta desafíos como la falta de capacidad institucional y la viabilidad financiera. Concluye que estos desafíos pueden superarse mediante un enfoque integrado, fortalecimiento institucional y compartiendo mejores prácticas entre países andinos para mejorar la sostenibilidad de la electrificación rural.

FICHA DE LECTURA N°28

Título: A climate rationale for research and development on photovoltaics manufacture	Datos bibliográficos: (Ravikumar et al., 2017)
País, Ciudad: Tempe, Estados Unidos	

RESUMEN DEL TEXTO: El artículo trata sobre la importancia de la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (PV) para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la política climática. El análisis típico de las implicaciones de GEI en el ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos no considera los efectos intertemporales, en los que las emisiones iniciales de GEI emitidas en la fase de fabricación deben compensarse con la reducción de emisiones de combustión de combustibles fósiles durante su uso. Por lo tanto, los beneficios climáticos generales de los paneles solares fotovoltaicos dependen tanto de la eficiencia de la fabricación de los paneles como de la eficiencia en la generación de electricidad durante su uso. El estudio presenta un nuevo marco de referencia utilizando el parámetro de forzamiento radiativo acumulado (CRF) para demostrar el importante

beneficio climático de mejorar los procesos de fabricación de paneles solares fotovoltaicos en áreas intensivas en GEI y determina el aumento equivalente en la eficiencia de los módulos que proporcionan el mismo beneficio climático. Los hallazgos muestran que la fabricación de paneles solares fotovoltaicos de bajo carbono aumenta el beneficio climático del ciclo de vida en un 20%, lo que equivale a aumentar la eficiencia del módulo desde un valor de referencia del 17% al 21,7% y del 16% al 18,7% para los módulos de mono-Si y multi-Si, respectivamente. El artículo concluye que mejorar la fabricación de paneles solares fotovoltaicos puede ser más efectivo que mejorar la eficiencia del módulo para aumentar el beneficio climático de las instalaciones fotovoltaicas a escala teravatio.

Palabras claves: Atmospheric radiation; Emission control; Fossil fuels; Gas emissions; Life cycle; Manufacture; Photovoltaic cells; Climate impacts; Electricity generation efficiencies; Energy sustainability; Fossil fuel combustion emissions; Manufacturing phase; Manufacturing process; Photovoltaics; Research and development; Greenhouse gases; climate effect; combustion; electricity generation; energy efficiency; environmental policy; greenhouse gas; installation; life cycle analysis; manufacturing; photovoltaic system; radiative forcing; research and development; sustainability

Interpretación personal: El autor respalda la transición energética y la sostenibilidad, destacando la importancia de los paneles solares fotovoltaicos. Argumenta que su fabricación de bajo carbono es crucial para reducir emisiones. Además, elogia la energía solar como renovable, distribuida, segura y competitiva en costos. El autor enfatiza que mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental en la fabricación de paneles es esencial para avanzar hacia una economía sostenible. En resumen, se promueve la energía solar como clave en la transición a la sostenibilidad, enfocándose en eficiencia y bajo impacto ambiental en su fabricación.

FICHA DE LECTURA N°29

Título: Effects of self-generation in imperfectly competitive electricity markets: The case of Spain

País, Ciudad: Valencia, España; Edinburgh, Escocia, Londres, Reino unido

Datos bibliográficos: (Ribó-Pérez et al., 2019)

RESUMEN DEL TEXTO: El artículo trata sobre el impacto de la energía fotovoltaica (PV) generada por los hogares en el mercado eléctrico español. El artículo indica que la generación de energía fotovoltaica por parte de los hogares puede reducir la demanda neta de electricidad y, por lo tanto, reducir los precios de la energía a través de un efecto de orden de mérito. Esto reduce las ganancias de todos los incumbentes en los mercados eléctricos. Además, en mercados imperfectamente competitivos, la autogeneración de PV reduce los precios a través de una reducción en el poder de mercado. El primer efecto puede justificar intervenciones políticas adicionales para mantener la recuperación de costos, pero el segundo es mucho más deseable, ya que ayuda a aumentar la sostenibilidad y la competencia. Sin embargo, a diferencia de una simple reducción en los precios del mercado, el efecto de la competencia afecta a todos los incumbentes de manera diferente. El artículo utiliza un modelo de Nash-Cournot y una representación

simplificada del mercado eléctrico español para determinar los efectos de orden de mérito y de competencia de un aumento en la autogeneración solar. Los autores concluyen que ambos efectos son importantes y que su análisis es esencial para informar el debate social sobre la política de PV.

Palabras claves: Commerce; Competition; Costs; Depreciation; Electric industry; Models; Photovoltaic effects; Power markets; Competition effects; Competitive electricity markets; Electricity demands; Imperfect competition; Policy intervention; Self-generation; Spanish electricity markets; Wholesale electricity markets; Electric power generation; competition (economics); demand analysis; electricity generation; electricity supply; energy market; energy policy; numerical model; photovoltaic system; Spain

Interpretación personal: El documento analiza el impacto de la energía solar fotovoltaica en el mercado eléctrico español, incluyendo su influencia en los precios de la energía y en el poder de las empresas existentes. Se destaca que la generación solar puede reducir la demanda eléctrica neta, pero el efecto rebote puede contrarrestar esto. A pesar de ello, se mencionan los beneficios para los consumidores a largo plazo. También se advierte sobre la disminución de precios y su impacto en las empresas establecidas.

FICHA DE LECTURA N°30

Título: Towards improved solar energy justice: Exploring the complex inequities of household adoption of photovoltaic panels	Datos bibliográficos: (Sovacool et al., 2022)
País, Ciudad: Sussex, Reino unido; Aarhus, Dinamarca; Boston, Estados Unidos	

RESUMEN DEL TEXTO: El resumen describe una investigación sobre las posibles inequidades y riesgos asociados con la adopción de la energía solar a nivel hogareño y comunitario. Se utilizó un diseño de investigación mixto que incluyó entrevistas a hogares solares, visitas a sitios y una revisión de la literatura para investigar cuatro tipos de inequidades: demográficas, espaciales, entre especies y temporales. Los resultados sugieren que la adopción de la energía solar puede presentar múltiples y entrelazadas inequidades, y se propone un marco de trabajo para identificarlas y abordarlas de manera más sostenible y justa. El estudio tiene implicaciones directas para las prácticas comerciales y cadenas de suministro solares, así como para las políticas energéticas y climáticas. En resumen, el estudio proporciona información importante sobre los desafíos y oportunidades de la energía solar en términos de equidad y justicia social.

Palabras claves: Solar cells; Solar concentrators; Solar energy; Solar power generation; Community-based; Energy justices; Household; Inequity; Low-carbon electricities; Photovoltaic panels; Renewable energies; Solar; Solar photovoltaic panels; Sustainability transition; Supply chains; alternative energy; complexity; energy policy; environmental policy; future prospect; household energy; household survey; photovoltaic system; risk assessment; social justice; solar power; technology adoption

Interpretación personal: El autor se enfoca en las inequidades relacionadas con la adopción de paneles solares en hogares y destaca cuatro tipos de inequidades: demográficas, espaciales, intergeneracionales e interspecies. El autor utiliza un enfoque de investigación mixto y proporciona recomendaciones para abordar estas inequidades, como la promoción de la propiedad comunitaria de paneles solares y políticas de eliminación adecuada de residuos. Además, señala problemas como el impacto ambiental negativo y el aumento de costos asociados con la energía solar.

FICHA DE LECTURA N°31	
Título: Are the rural electrification efforts in the Ecuadorian Amazon sustainable?	Datos bibliográficos: (Feron et al., 2016a)
País, Ciudad: Lüneburg, Alemania; Santiago, Chile	
<p>RESUMEN DEL TEXTO: En este artículo, evaluamos la sostenibilidad de los programas de electrificación rural en Ecuador, prestando especial atención a los programas dirigidos a pequeñas comunidades indígenas en la cuenca del Amazonas. Nuestra evaluación considera cuatro dimensiones de sostenibilidad (institucional, económica, ambiental y sociocultural) y se basa en un exhaustivo análisis cualitativo de documentos, complementado por entrevistas semiestructuradas a expertos. Encontramos que cambios disruptivos han afectado las políticas de electrificación en Ecuador durante décadas, evitando el desarrollo de instituciones fortalecidas. A pesar de esta importante desventaja, encontramos que hay un consenso en otorgar acceso a la energía para todos. Esto explica parcialmente los esfuerzos nacionales, persistentes a través de diferentes administraciones, para financiar la electrificación rural. Sin embargo, en el caso de las soluciones fotovoltaicas fuera de la red, estos esfuerzos han descuidado consistentemente asignar fondos para la operación y el mantenimiento, lo que ha comprometido seriamente la sostenibilidad. Además, aunque los funcionarios ecuatorianos declararon favorecer los sistemas fotovoltaicos independientes en el caso de las comunidades indígenas en el Amazonas, encontramos que los aspectos ambientales o socio-culturales tienen un papel menor en la selección de estos sistemas. Se necesita progreso en cuanto a la conciencia ambiental, la aceptación social y la justicia cultural para garantizar la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en la Amazonía ecuatoriana.</p>	
<p>Palabras claves: electricity supply; indigenous population; photovoltaic system; qualitative analysis; questionnaire survey; research institution; research work; rural electrification; social justice; sustainability; sustainable development; Amazonia; Ecuador</p>	
<p>Interpretación personal: El autor del documento evalúa la sostenibilidad de los programas de electrificación rural en la Amazonía ecuatoriana, especialmente en comunidades indígenas. Aunque no se centra explícitamente en la transición energética, identifica desafíos y oportunidades para mejorar la sostenibilidad de estos programas y proporciona recomendaciones específicas. Los desafíos incluyen problemas institucionales y legales, mientras que las oportunidades abarcan el compromiso político y la regulación. El autor concluye que estos programas pueden mejorar la calidad de vida y la protección ambiental, pero se deben abordar los desafíos y aprovechar las</p>	

oportunidades. Se enfatiza la necesidad de un enfoque integral y sostenible en la electrificación rural en la Amazonía ecuatoriana y en regiones similares.

FICHA DE LECTURA N°32

Título: Sustainability evaluation of community-based, solar photovoltaic projects in Malawi

Datos bibliográficos: (Dauenhauer et al., 2020)

País, Ciudad: Glasgow, Reino Unido

RESUMEN DEL TEXTO: El abstract describe un estudio que utiliza un marco de trabajo de sostenibilidad de proyectos para evaluar 65 proyectos de sistemas de energía solar fotovoltaica (PV) fuera de la red en Malawi. Se trata de proyectos que sirven a instalaciones públicas rurales, una solución conocida por tener problemas históricos de baja sostenibilidad. Se evaluó un programa reciente en todo el país que se enfocó en dichas instalaciones frente a proyectos existentes para determinar si esta última iteración ofrecía mejores resultados. La sostenibilidad se define a nivel de proyecto con métricas justificadas bajo los temas principales de técnico, económico, social y organizacional. Los datos capturados para cada proyecto se basan en una encuesta personalizada y una entrevista con los principales interesados. Los proyectos se agrupan según la edad, el implementador del proyecto, el nivel de ingresos y el tamaño del sistema de PV para comparar los resultados relativos. Los resultados muestran que la perspectiva de sostenibilidad para la mayoría de los proyectos es baja. La sostenibilidad social fue débil debido a la baja participación de la comunidad local en términos de número de interesados, frecuencia de reuniones y contribuciones de la comunidad. Los desafíos organizacionales incluyeron la falta de posiciones clave de gestión y la capacitación extremadamente limitada. Además, la evaluación destaca que la salud económica del sistema es clave para la sostenibilidad, con los proyectos "más saludables" que solo cubren el 37% de los costos esperados de operaciones y mantenimiento. En comparación con la demanda esperada, se encontró que los sistemas eran demasiado pequeños tanto para paneles (53% de lo requerido) como para baterías (57%). Los usuarios informaron que solo lograron el 60% de su consumo deseado. Las normas de dimensionamiento deficientes relacionadas con la falta de perfiles de carga para usuarios de electricidad por primera vez, así como componentes de baja calidad, redujeron la sostenibilidad técnica general. En conclusión, las instalaciones públicas rurales con energía solar PV en Malawi no están bien atendidas por la gestión comunitaria aislada. Se requiere una mejor sostenibilidad mediante el establecimiento de un marco financiero sólido antes del desarrollo del proyecto que incluya el apoyo formal del gobierno local. Este artículo discute marcos de gestión ideales y sus últimas implicaciones para desarrolladores de proyectos, formuladores de políticas y la comunidad de investigación.

Palabras claves: Economic and social effects; Iterative methods; Solar concentrators; Solar power generation; Community energy; Evaluation; Indicator frameworks; Public facilities; Solar photovoltaics; Sustainable development; community development;

electricity; local government; photovoltaic system; policy making; rural area; solar power; stakeholder; sustainability; Malawi

Interpretación personal: El autor del estudio se centra en evaluar proyectos de energía solar fotovoltaica en Malawi y no toma una posición clara sobre la transición energética en general. Los resultados indican que estos proyectos son altamente sostenibles en aspectos sociales, organizativos, técnicos y económicos, mejorando la calidad de vida local y fortaleciendo la capacidad de las organizaciones locales. No se encontraron impactos ambientales negativos significativos, lo que lleva a concluir que son ambientalmente sostenibles, aunque no se realizó una evaluación exhaustiva del ciclo de vida de los proyectos en este estudio.

FICHA DE LECTURA N°33

Título: Is Peru prepared for large-scale sustainable rural electrification?

País, Ciudad: Lüneburg, Alemania; Santiago, Chile

Datos bibliográficos: (Feron & Cordero, 2018)

RESUMEN DEL TEXTO: Perú ha tenido históricamente una baja tasa de electrificación rural en comparación con otros países latinoamericanos. Con el objetivo de mejorar esta situación, el país ha llevado a cabo varios esfuerzos de electrificación en las últimas décadas que incluyeron soluciones fotovoltaicas (PV) fuera de la red para áreas remotas donde la expansión de la red no era viable. Más recientemente, el gobierno también ha patrocinado un "programa masivo" que tiene como objetivo desplegar un mínimo de 150,000 soluciones fotovoltaicas fuera de la red en los próximos años. En este artículo, evaluamos la sostenibilidad de los programas de electrificación rural en Perú, prestando especial atención al "programa masivo" en curso. Nuestra evaluación considera cuatro dimensiones de sostenibilidad (institucional, económica, ambiental y socio-cultural) y se basa en un exhaustivo análisis documental cualitativo complementado con entrevistas a expertos semiestructuradas. Encontramos que la falta de instituciones formales fuertes con una estructura flexible y descentralizada compromete seriamente la sostenibilidad de los esfuerzos de electrificación rural en Perú. La rotación del personal y las competencias superpuestas han provocado cambios perturbadores e inhibido seguir una línea estratégica, mientras que la subcontratación generalizada combinada con controles débiles a menudo ha afectado la fiabilidad de los sistemas implementados. Aunque los subsidios cruzados han hecho que los sistemas PV fuera de la red sean asequibles para los usuarios, a menudo estos sistemas no cumplen con la demanda energética. Es importante destacar que los funcionarios peruanos parecen no ser conscientes de la importancia de la participación local, y existe una importante desconfianza entre el gobierno y la población rural (especialmente en áreas donde la minería es extensiva). Como consecuencia, la mayoría de los proyectos todavía se diseñan sin la participación y el compromiso de las comunidades, lo que ha llevado con frecuencia a fracasos del proyecto, impagos y la imposibilidad de aprovechar oportunidades relacionadas con los usos productivos de los sistemas PV fuera de la red. Esperamos que nuestros hallazgos puedan ayudar a las

instituciones peruanas a abordar los problemas más graves que afectan a sus esfuerzos de electrificación rural basados en sistemas PV fuera de la red.

Palabras claves: alternative energy; assessment method; demand analysis; developing world; energy efficiency; expert system; governance approach; institutional framework; local participation; outsourcing; photovoltaic system; questionnaire survey; rural electrification; rural population; smart grid; social justice; sustainability; sustainable development; Latin America; Peru

Interpretación personal: El texto evalúa la sostenibilidad de los programas de electrificación rural en Perú, considerando cuatro dimensiones: ambiental, social, económica e institucional. Se identifican desafíos como la falta de instituciones sólidas, rotación de personal y falta de participación comunitaria. También se encuentran oportunidades, como mejorar la coordinación y el uso productivo de sistemas fotovoltaicos. En resumen, se enfatiza la importancia de abordar estos desafíos para mejorar la sostenibilidad de la electrificación rural en Perú.

FICHA DE LECTURA N°34

Título: Industrial photovoltaic systems: An economic analysis in non-subsidized electricity markets	Datos bibliográficos: (Cucchiella et al., 2015)
--	--

País, Ciudad: L'Aquila y Milan, Italia;

RESUMEN DEL TEXTO: Los sistemas fotovoltaicos (PV) se están convirtiendo en una fuente relevante de electricidad, caracterizada por una tendencia creciente en los últimos años. Este artículo analiza la viabilidad económica de las inversiones en sistemas fotovoltaicos industriales de diferentes tamaños (200 kW, 400 kW, 1 MW y 5 MW), en ausencia de subsidios, y en un mercado maduro (Italia). Los indicadores seleccionados para este tipo de evaluación son el valor presente neto (VPN) y el tiempo de amortización descontado (DPBT). Además, se evalúa la ventaja ambiental en comparación con las fuentes de energía fósil a través de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (ERcd). Por último, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad sobre variables críticas (porcentaje de energía autoconsumida, tasa de insolación anual promedio, precio de compra de electricidad anual, precio de venta de electricidad anual, costo de inversión unitario y costo de oportunidad). Los resultados destacan el papel estratégico del autoconsumo en un mercado caracterizado por la ausencia de incentivos de políticas públicas y la presencia de interesantes oportunidades económicas para las aplicaciones industriales.

Palabras claves: Economic analysis; Photovoltaic (PV) systems; Sensitivity analysis; Sustainability

Interpretación personal: El texto aborda un estudio sobre la viabilidad económica de sistemas fotovoltaicos industriales en mercados de electricidad no subsidiados. Se destaca la importancia de la inversión en energías renovables para la independencia energética y la mejora de la imagen de marca de las empresas. También se mencionan factores críticos que afectan la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos y se resalta que, a pesar de desafíos como la variabilidad de la producción de energía, estos sistemas representan una inversión promisoría, especialmente cuando el autoconsumo es alto. En resumen, el

estudio concluye que la energía fotovoltaica puede contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono y al bienestar ambiental y económico, incluso en mercados sin subsidios.

FICHA DE LECTURA N°35

Título: Selection of the most sustainable renewable energy system for Bozcaada Island: Wind vs. Photovoltaic	Datos bibliográficos: (Oğuz & Şentürk, 2019)
---	---

País, Ciudad:

RESUMEN DEL TEXTO: El abstract describe un estudio que compara dos sistemas de energía renovable: un parque eólico en tierra que ha estado operando en la isla de Bozcaada desde el año 2000 y una planta de energía solar fotovoltaica propuesta, en términos de tiempo de retorno energético (EPBT), emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y costo del ciclo de vida. Se utilizó el análisis del ciclo de vida (LCA) y el costo del ciclo de vida (LCC) para evaluar todo el proceso de producción de energía, incluida la fase de reciclaje, para ambos sistemas. Se compararon los diferentes escenarios considerando diversas categorías de impacto ambiental, como el potencial de calentamiento global (GWP), el potencial de acidificación (AP) y el potencial de eutrofización (EP). También se calculó el costo nivelado por unidad para producir 1 MWh de electricidad (LUCE) para ambos sistemas. Los resultados mostraron que el parque eólico en tierra tiene más beneficios que la planta de energía solar fotovoltaica propuesta en términos de aspectos ambientales y de costo a largo plazo. El estudio concluye que el LCA y el LCC son herramientas útiles y prácticas para determinar las ventajas y desventajas de diferentes sistemas de energía renovable considerando sus impactos ambientales y económicos a largo plazo.

Palabras claves: alternative energy; greenhouse gas; life cycle analysis; photovoltaic system; power generation; software; sustainability; wind farm; wind power

Interpretación personal: En el artículo se compara el impacto ambiental y el costo de dos sistemas de energía renovable: una granja eólica terrestre en funcionamiento desde 2000 y una planta solar fotovoltaica propuesta. Se emplea el tiempo de retorno de energía (EPBT), las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el costo del ciclo de vida para la comparación. Los resultados muestran que la granja eólica tiene un menor costo de ciclo de vida y un EPBT más corto que la planta solar. Se utiliza el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar los impactos ambientales, considerando las emisiones de GEI y otros factores desde la producción hasta el desmantelamiento de ambos sistemas renovables.

FICHA DE LECTURA N°36

Título: Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review	Datos bibliográficos: (H. F. Yu et al., 2022)
---	--

País, Ciudad: Kuala Lumpur, Malasia

RESUMEN DEL TEXTO: Este abstract habla sobre la problemática de los residuos generados por los paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil y la importancia de implementar un manejo sostenible de los mismos. En la actualidad, la mayoría de los paneles solares son desechados en vertederos o reciclados en instalaciones existentes, lo que puede causar problemas ambientales y la pérdida de recursos valiosos. Por lo tanto, se prefiere el reciclaje cerrado de alto valor, que es más beneficioso para el medio ambiente, aunque presenta desafíos en su implementación. El objetivo de este trabajo es proporcionar una visión general de la gestión de los residuos de paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil, centrándose en los desafíos que presenta el reciclaje de paneles solares. Además, se discuten los marcos regulatorios relacionados con los residuos de paneles solares fotovoltaicos en diferentes países y se proponen recomendaciones para mejorar su gestión. Se enfatiza en la importancia de la responsabilidad extendida del productor, la presencia de infraestructura adecuada, la investigación y el desarrollo, así como la cooperación entre diversos organismos gubernamentales y privados para establecer un marco sostenible de gestión de residuos de paneles solares.

Palabras claves: global change; literature review; photovoltaic system; recycling; research and development; sustainability; waste disposal; waste management

Interpretación personal: El autor del texto se centra en la gestión sostenible de los módulos fotovoltaicos y la eliminación de residuos, sin expresar una opinión clara sobre la transición energética en general. Se destaca la importancia de abordar los desafíos en la gestión de residuos al final de la vida útil de los módulos fotovoltaicos, dado el crecimiento de la energía solar fotovoltaica. El autor proporciona información sobre la gestión de estos residuos, resaltando la colaboración entre diversos actores como clave para una gestión eficaz. A pesar de las desventajas, se enfatiza que la energía solar fotovoltaica sigue siendo una fuente de energía esencial y en crecimiento, cuya sostenibilidad depende de una adecuada gestión de residuos.

FICHA DE LECTURA N°37	
Título: Design of domestic photovoltaics manufacturing systems under global constraints and uncertainty	Datos bibliográficos: (Santibañez-Aguilar et al., 2020)
País, Ciudad: Monterrey, Mexico; Berkeley y Massachusetts, Estados Unidos.	
RESUMEN DEL TEXTO: A medida que el discurso político global destaca constantemente la necesidad de una combinación de energía más limpia, las estrategias de fabricación están cobrando más relevancia. Por lo tanto, el diseño del sistema fotovoltaico es un aspecto crucial relacionado con la sostenibilidad general. De hecho, varios países están considerando el potencial de fabricar localmente diferentes elementos de la cadena de valor fotovoltaica y las estrategias para incentivar una base de fabricación local. Este artículo desarrolla un enfoque de programación matemática para el diseño óptimo de una cadena de valor de fabricación de PV considerando diversos criterios vinculados al desempeño económico y ambiental, como el precio mínimo sostenible, la capacidad de transporte, entre otros, y considerando la incertidumbre. Además, la metodología	

propuesta implica la dependencia en el tiempo de las variables de la cadena de suministro y los parámetros económicos como la inflación, el costo de la electricidad y el costo promedio ponderado de capital, para determinar la topología del sistema de fabricación en condiciones inciertas. Nuestros resultados destacan la importancia de los modelos de planificación para desarrollar políticas de mercado relacionadas con las cadenas de suministro, los cambios en el nivel de producción y los aranceles impuestos, todo ello involucrando la incertidumbre en los parámetros económicos, lo que representa una mejora en comparación con los modelos de planificación que utilizan formulaciones deterministas. Finalmente, la metodología y los resultados propuestos pueden fomentar la toma de decisiones considerando las posibles variaciones en diferentes parámetros.

Palabras claves: Costs; Decision making; Environmental management; Mathematical programming; Multiobjective optimization; Solar power generation; Supply chains; Sustainable development; Uncertainty analysis; Economic and environmental performance; Expected values; Manufacturing strategy; Photovoltaics systems; Solar photovoltaics; Transportation capacity; Uncertainty; Weighted average cost of capitals; Manufacture; economic conditions; manufacturing; methodology; optimization; photovoltaic system; policy development; political discourse; solar power; sustainability; uncertainty analysis

Interpretación personal: El documento se enfoca en proporcionar información y estrategias para mejorar la sostenibilidad y eficiencia en la fabricación de paneles solares fotovoltaicos, en el contexto de la transición hacia energías renovables. Se destacan estrategias como la optimización multiobjetivo, la reducción de residuos y el uso de energía renovable en la fabricación. Aunque no aborda problemas específicos de la fabricación en masa, se menciona el desafío de escalar económicamente la producción. Se subraya la importancia de mejorar la sostenibilidad para reducir la huella ambiental y aumentar la eficiencia, incluyendo la reducción de residuos y el uso de fuentes de energía renovable en la producción. En resumen, se promueve un enfoque integral para hacer que la energía solar sea más sostenible y eficiente.

FICHA DE LECTURA N°38

Título: S4 Framework for the Integration of Solar Energy Systems in Small and Medium-Sized Manufacturing Companies in Mexico

Datos bibliográficos: (Pérez et al., 2022)

País, Ciudad: Monterrey, Mexico; California, Estados Unidos

RESUMEN DEL TEXTO: Este abstract se refiere al consumo energético del sector industrial en México, el cual representa más del 60% de la energía producida en el país, principalmente a partir de combustibles fósiles, y los impactos negativos que esto tiene en el medio ambiente y las personas. La energía solar puede ayudar a diversificar las fuentes de energía de las empresas, generar ahorros y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, así como reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, en México, menos del 3,5% de la electricidad proviene de la energía solar y existe una falta de información sobre los aspectos técnicos y sociales involucrados en los sistemas fotovoltaicos (PV), lo que

dificulta a las empresas analizar y evaluar datos relevantes para tomar decisiones efectivas basadas en sus necesidades. Por lo tanto, las empresas no pueden entender el ciclo de vida completo de los sistemas PV y, por lo general, solo se toman decisiones económicas, ambientales y técnicas basadas en el análisis de instalación, que es solo una etapa en la vida útil de los sistemas PV.

Palabras claves: Classification (of information); Environmental impact; Fossil fuels; Life cycle; Social aspects; Solar panels; Solar power generation; Impact on the environment; Industrial sector; Lifespans; Manufacturing companies; Me-xico; Photovoltaic panels; Photovoltaic systems; Renewable energies; Solar energy systems; Solar energy

Interpretación personal: El autor propone un marco de referencia llamado S4 Framework para integrar la energía solar en empresas manufactureras pequeñas y medianas en México. Su objetivo principal es reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad energética en el sector industrial, que consume la mayoría de la energía en el país. Se destaca la falta de conocimiento sobre sistemas fotovoltaicos y se aboga por enfoques financieros que faciliten el acceso a la energía solar. A pesar de su potencial, el mercado solar en México es aún limitado. En resumen, se promueve una perspectiva de "Sostenibilidad Fuerte" que enfatiza la gestión responsable de recursos naturales y políticas claras para avanzar en la sostenibilidad energética en el sector industrial.

FICHA DE LECTURA N°39

Título: The german energy transition and its stumbling blocks-promotion of power generation from photovoltaic systems and its influence on the german energy transition

Datos bibliográficos: (Kempt, 2019)

País, Ciudad: Chemnitz, Alemania

RESUMEN DEL TEXTO: La transición energética que comenzó en Alemania en el año 2000 es ampliamente aceptada por la población. Los institutos de investigación de opinión informan que más del 90 por ciento está de acuerdo con la política adoptada. Sin embargo, en el debate público de los últimos años se expresaron opiniones cada vez más críticas. En particular, se discuten los costos aumentados de la transición energética, que deben ser soportados por la población y la economía. A pesar de las cargas aumentadas en todas las áreas de la transición energética, las críticas se deben principalmente a la carga adicional sobre los clientes de electricidad a través del mayor uso de energía renovable. Una de las razones de esto es el aumento del recargo de la Ley de Energías Renovables (EEG / Erneuerbare-Energien-Gesetz), que financia la expansión de las energías renovables y que finalmente debe ser soportado por los clientes de las empresas de suministro de energía. Este recargo aumentó en un 74 por ciento solo en los años 2012 a 2014. Una de las principales razones de esto fue la excesiva subvención de la electricidad de los sistemas fotovoltaicos de 2008 a 2012, que fue utilizada principalmente por grandes inversores y resultó en una expansión masiva. Aunque la proporción de energías renovables en la mezcla de electricidad alemana ha aumentado, no se observó un equivalente económico, como un aumento sostenible en empleos o cifras de exportación

altas entre las empresas que producen estas plantas. Hoy en día, los economistas se preguntan en qué medida se podría haber evitado este error y en qué medida esto ha dañado la reputación de la transición energética. El debate de política económica sobre este tema es liderado por varios grupos de interés cuyas opiniones difieren ampliamente. Establecer un consenso público es difícil, pero esencial para una continuación exitosa de la transición energética.

Palabras claves: Economics; Expansion; Photovoltaic cells; Planning; Solar energy; Sustainable development; Electricity customers; Energy supply companies; Energy transitions; Germany; Photovoltaic systems; Research institutes; Sustainable energy; Use of renewable energies; Energy policy

Interpretación personal: Interpretación personal: El texto proporciona una visión equilibrada de la transición energética en Alemania, señalando aspectos positivos como la aceptación de políticas sostenibles y la preocupación por el cambio climático, pero también resaltando desafíos como los crecientes costos y la financiación excesiva de la energía solar.

Se argumenta que la financiación desproporcionada de la energía solar ha aumentado los costos energéticos y no ha generado empleo ni exportaciones sostenibles. Además, se mencionan problemas relacionados con la calidad de vida cerca de las plantas de energía eólica y la ubicación de parques eólicos.

El autor concluye que se necesitan soluciones sostenibles para abordar los desafíos económicos, enfatizando la importancia de una monitorización ágil y respuestas políticas rápidas para el éxito de la transición energética en Alemania.