ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.904

Development of solar energy projects in industry: systematic literature review

Ruiz Ortiz, Tito Samuel[1]; Robles Vara, Eduardo Joaquín[2]; Mancilla Sánchez, Pablo Alonso[3]
[1,2,3] Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20300088@utp.edu.pe, 1522888@utp.edu.pe, C15007@utp.edu.pe

***Abstract*– Currently, solar energy has experienced limited development due to a lack of knowledge and technical information about renewable energy sources, as well as the urgent need for industries to transition to a viable and sustainable solution driven by technological advancements and innovations. For this systematic literature review (SLR), the PICO methodology was applied to select relevant articles based on inclusion and exclusion criteria, resulting in a final selection of 38 articles. According to the research findings, solar energy demonstrates greater efficiency through the implementation of solar plants compared to other renewable energy sources. Although solar energy operates within a hybrid system, its widespread adoption remains limited due to high installation and maintenance costs, as well as a lack of government incentives. In conclusion, technological advancements and sustainable strategies position solar energy as a key solution in the transition toward a renewable energy matrix.**

***Keywords*-- Solar Energy, Renewable Energy, Sustainability, Photovoltaic System and Solar Plant.**

Desarrollo de proyectos de energía Solar en la industria: Una Revisión sistemática de literatura

Ruiz Ortiz, Tito Samuel[1]; Robles Vara, Eduardo Joaquín[2]; Mancilla Sánchez, Pablo Alonso[3]
[1,2,3] Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20300088@utp.edu.pe, 1522888@utp.edu.pe, C15007@utp.edu.pe

***Resumen*– Actualmente la energía solar ha tenido un desarrollo limitado debido al desconocimiento y la falta de información técnica sobre las energías renovables y la necesidad de migrar rápidamente a una solución viable y sostenible en las industrias, impulsadas por avances tecnológicos e innovaciones. Para esta revisión sistemática de literatura (RSL) se aplicó la metodología PICO con la finalidad de seleccionar artículos idóneos a partir de criterios de inclusión y exclusión seleccionando 38 artículos. De acuerdo con los resultados de la investigación se identificó que la energía solar tiene mayor eficiencia a partir de la implementación de las plantas solares y en comparación con otras energías renovables. A pesar de que la energía solar funciona bajo un sistema hibrido, no está masificada por altos costos de instalación, mantenimiento y falta de incentivos gubernamentales. En conclusión, los avances tecnológicos y las estrategias sostenibles se consolidan a la energía solar como una solución clave en la transición hacia una matriz energética renovable.**

Palabras Claves: Energía Solar, Energía Renovable, Sostenibilidad, Sistema Fotovoltaico, Planta Solar.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda global de energía está en constante aumento, Impulsada por el crecimiento económico y el desarrollo industrial. Esta demanda ha generado una creciente preocupación por la sostenibilidad de la energía y aplacar las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo cual [1], indica que, con el tiempo notable incremento en el interés por nuevas fuentes de energías renovables en diferentes sectores. Este impulso ha sido reforzado por el respaldo de numerosos gobiernos que han promovido activamente la construcción de grandes Fuentes de energías renovables (FER), incluyendo proyectos de energía hidroeléctrica, solar y eólica. Además, se han destinado importantes recursos a la investigación para el desarrollo de nuevas tecnologías en este campo, con el objetivo de hacer más eficientes y accesibles estas fuentes energéticas, facilitando así, el avance hacia un futuro más sustentable y menos dependiente de los combustibles fósiles.

Las energías renovables (ER) como la solar, se presentan como una opción para cubrir el requerimiento de energía limpia y sostenible. De acuerdo con, [2], el sol proporciona una fuente de energía casi inagotable, los sistemas fotovoltaicos (PV) se emplean para transformar la radiación solar en electricidad. Esta energía puede utilizarse para alimentar diversas cargas y es apta para una variedad de aplicaciones, como el abastecimiento de energía a viviendas y empresas. Según, [3], Afirma que hay diversas alternativas para que los hogares disminuyan su huella de carbono y, al mismo tiempo, promuevan un sistema eléctrico más sostenible. Entre estas opciones se encuentran los paneles solares híbridos autónomos, las turbinas eólicas y las baterías, diseñados para satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda en diferentes tipos de climas. Además, es posible almacenar la electricidad generada en baterías para su uso durante periodos en los que no haya luz solar. La energía solar fotovoltaica (PV) sigue experimentando un incremento exponencial en la actualidad, así mismo al reducir los costos de producción y a las políticas de incentivos gubernamentales. Las industrias, como motores son clave del desarrollo económico y son fundamentales para una transición futura de energías sostenibles. La masificación de instalaciones solares en las industrias ofrece una oportunidad única para reducir la huella de carbono, erradicando la dependencia de los combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética.

El principal objetivo de esta RSL es investigar y analizar los estudios más recientes sobre proyectos solares para identificar los retos principales en la evaluación de su viabilidad para la generación de energía eléctrica limpia. Permitiendo comprender mejor los factores que afectan la eficiencia y la sostenibilidad de estas instalaciones, incluyendo aspectos técnicos, económicos y ambientales. Por lo tanto, Esta RSL se centra en analizar la literatura científica actual sobre el estudio de instalaciones solares en las industrias. Se busca identificar las tendencias, las mejores prácticas y los desafíos que enfrentan las empresas en este proceso. Se analizarán las diferentes tecnologías solares disponibles, los factores que impulsan la adopción de estas tecnologías, los beneficios económicos y ambientales, y las barreras que impiden su implementación a gran escala. Los resultados de esta RSL servirán como base para futuras investigaciones y para mejorar las estrategias que promuevan el despliegue de nuevos proyectos de instalaciones solares.

II. METODOLOGIA

A. Estrategias de búsqueda

Esta investigación se basa en metodologías de revisión sistemática de literatura (RSL), que armoniza la literatura empírica y la teórica, de esta manera proporcionar conclusiones y exponer resultados encontrados en las diferentes fuentes consultadas. Por tal motivo después de realizar un análisis bibliométrico de todos los artículos encontrados y extraídos de la base de datos Scopus. Así mismo se plantea la búsqueda

sistemática empleando la estrategia PICO. Según [4], con relación al planteamiento de la pregunta (PIC). Sobre, RQ. ¿Qué Tecnologías se puede implementar en los nuevos proyectos de instalaciones solares en la industria y reducir la sobre carga de la red Eléctrica? Para mejorar la conectividad a la red eléctrica y aprovechar la alta eficiencia fotovoltaica, según, [5], es muy seguro el uso de inversores conectados a la red (ON GRID). Además, según [6], señalan que aplicando sistemas fotovoltaicos flotantes (FVP) son tecnologías modernas que pueden mejorar la generación de energía eléctrica.

Posterior a esto se obtuvo como resultado cuatro preguntas. La siguiente pregunta se realizó con la P(Problema): ¿Por qué no se aprovecha los beneficios que ofrece la energía solar? Finalmente se obtuvo como resultado cuatro preguntas. La siguiente pregunta se realizó con la I(Tecnologías): ¿Qué tecnologías o herramientas se utilizan y se emplearon para llevar a cabo la generación de energía solar en el consume humano? Con la C(Comparación) se efectuó la pregunta: ¿Qué energías y fuentes alternativas son más eficientes comparadas a la energía solar? Con la C(Comparación) se efectuó la pregunta: ¿Cuál son los factores claves que generaron la efectividad implementada para la masificación de la energía solar?

B.- Criterios de Exclusión.

A continuación, se detallan el orden de cada componente (PIC) seleccionado. En primer lugar: se realiza la selección de manera general y se define conceptos a evaluar de los cinco aspectos más relevantes para los cuales queda de la siguiente manera; "Problema": Desaprovechamiento de la energía solar; Intervención: Tecnologías para la implementación de las plantas de energía solar; Contexto: Espacio de trabajo; Resultado: Informar y fortalecer la información sobre las energías renovables. (Ver Tabla I)

TABLA I
PALABRAS CLAVE

Implementación de plantas de energía solar en la industria: revisión sistemática de literatura			
Componente PICOC			**Palabras claves**
P	**Problema**	Desaprovechamiento de la energía solar	Energía solar, energía renovable, energía limpia, panel fotovoltaico, energía sostenible.
I	**Intervención**	Tecnologías para la implementación de las plantas de energía solar	Automatización industria, panel solar inversor.
C	**comparación**	Eficiencia energética.	Fuerza hidráulica
O	**Resultado**	voltage	Voltage
C	**Contexto**	espacio de trabajo	Planta solar

El paso número 1, fue identificar las palabras claves tanto en el problema (P), en la intervención (I) y contexto (C) que al ingresar al motor de búsqueda todas esas palabras claves, se encontraron 26805 artículos en (SCOPUS), antes del primer cribado. Seguidamente se realiza la limitación manual en la misma plataforma, ejecutando la exclusión automática por año (< 2019) y artículos por falta de accesibilidad resultando con un total 26584 eliminados. Posteriormente, se excluyeron artículos que no corresponden al tema de estudio (n=73), título que no tienen corresponden con el tema de estudio (n=69), a partir de la lectura del resumen difiere con el estudio (n=21), artículos que no cuentan con el Digital Object Identifier (DOI) (n=3) y estudios de acceso restringido (n=54); siendo el total, de documentos seleccionados para la revisión sistemática (n=39). (Ver Tabla II).

TABLA II
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA

Ecuación de búsqueda antes del cribado	
PIC	(TITLE-ABS-KEY ("SOLAR ENERGY" OR "RENEWABLE ENERGY" OR "CLEAN ENERGY" OR "PHOTOVOLTAIC PANEL" OR "SUSTAINABLE ENERGY") AND TITLE-ABS-KEY ("INDUSTRY AUTOMATION" OR "SOLAR PANEL" OR inverter) AND TITLE-ABS-KEY ("SOLAR PLANT"))
	220 documentos encontrados
Ecuación de búsqueda después del cribado	
PIC	(TITLE-ABS-KEY ("SOLAR ENERGY" OR "RENEWABLE ENERGY" OR "CLEAN ENERGY" OR "PHOTOVOLTAIC PANEL" OR "SUSTAINABLE ENERGY") AND TITLE-ABS-KEY ("INDUSTRY AUTOMATION" OR "SOLAR PANEL" OR inverter) AND TITLE-ABS-KEY ("SOLAR PLANT")) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))
	148 documentos encontrados

C.- Proceso de Selección de Estudios

Aplicando las palabras claves del (PIC) se obtuvieron 221 documentos, después de realizar el primer paso del cribado con la automatización de los Registros marcados por antigüedad <2019 no se eliminan ninguno y por solo artículo se eliminan (n = 73), después se organizan en tablas de Excel con un total de 148 documento como resultado de la búsqueda PIC, luego en el siguiente recuadro se puede ver distintos indicadores como título, año, tipo de documento, tipo de fuente, etc. Seguido a ello, de forma manual se eliminan por título n= 112, por no ser de libre acceso n=18 y por no tener (DOI) n=2. Luego se recuperan los 130 artículos para su selección por resumen, después de leer el resumen se eliminan un total de n=21. Por no ser de libre acceso n= 54, Excluidos por no tener (DOI) n=1 y por último después de la lectura completa se excluyen (n=14) sumando todas las exclusiones los documentos aptos son seleccionados para la revisión sistemática (n = 38).

METODOLOGÍA PRISMA

Después de aplicar los criterios de exclusión, se seleccionaron 38 artículos, a partir de la utilización de la declaración PRISMA *(Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses)*, Según [7], el diagrama PRISMA muestra los datos recopilados para la descarga y lectura completa de los artículos, además de incluir una solicitud de lectura al autor. Esta selección es clave para abordar aspectos críticos y ofrecer una síntesis del conocimiento en áreas específicas, lo que permite identificar prioridades de investigación. Si se investigan temas relacionados con la energía fotovoltaica (PV), los estudios individuales pueden responder preguntas relevantes, detectar problemas y generar nuevas hipótesis para el desarrollo de plantas solares. (Ver Fig. 1)

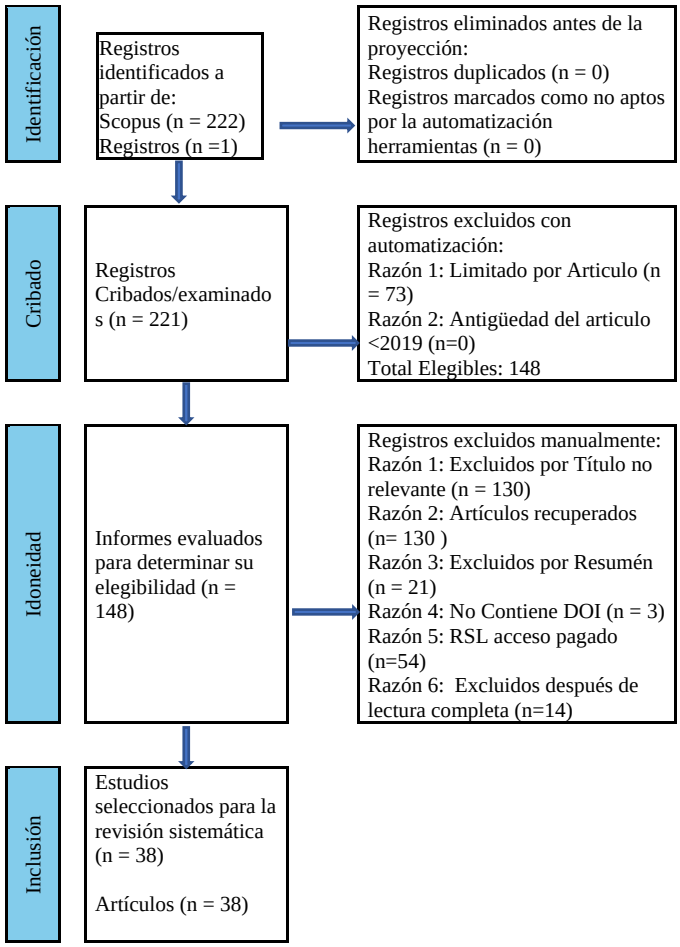

Fig. 01 – Adaptada del (Page et al. 2021) [8]

III. RESULTADOS

Esta sección examina el desarrollo de proyectos de energía solar en el sector industrial, basado en una revisión sistemática de la literatura. El estudio responde a las preguntas de investigación planteadas, ofreciendo una visión detallada de la adopción de tecnologías solares en las industrias y los beneficios económicos y ambientales asociados. A partir de un análisis de 38 artículos seleccionados, se sistematizó información clave sobre tendencias, desafíos técnicos y regulatorios, y mejores prácticas que fomentan el uso de la energía solar en este sector

A. Publicaciones por año

La Fig. 2 muestra la distribución de publicaciones sobre energía solar en la industria a lo largo de los años. Se observa una tendencia creciente, con un máximo de 10 publicaciones en 2023, seguido de 9 artículos en 2024 [9]. Este aumento refleja el interés cada vez mayor en las investigaciones relacionadas con la implementación de proyectos solares, impulsado por la necesidad de adoptar fuentes de energía más sostenibles y reducir la dependencia de combustibles fósiles en el sector industria

Fig. 2: Publicaciones por año.

B. Publicaciones por País

De los 38 artículos seleccionados, se llevó a cabo un análisis de la distribución geográfica de los estudios, donde India se destaca con el mayor número de investigaciones, alcanzando un total de 13 artículos vinculados a las soluciones energéticas sostenibles en la región. Mientras que otros países como Colombia, Malasia, Brasil, España, Rusia y Sri Lanka muestran también un interés considerable en plantas de energía solar, con 2 publicaciones cada uno. (Ver Fig. 3)

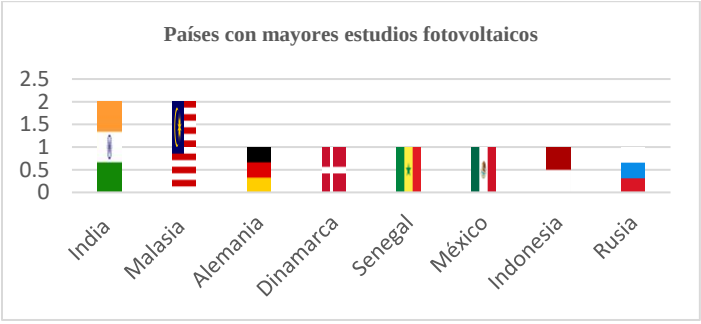

Fig. 3: Investigaciones realizadas en función de la distribución de los países.

C. Tipos de Estudio

De los 38 artículos analizados el 85% emplea un enfoque cuantitativo. Estos estudios se enfocan en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar el impacto de las instalaciones de energía solar en la industria. Un 8% de los artículos, se adopta un enfoque combinado, integrando métodos cuantitativos y cualitativos, a través de entrevistas y estudios de caso para proporcionar una visión más integral. Finalmente, el 5% restante corresponde a enfoques cualitativos, que emplean entrevistas detalladas y análisis de contenido para explorar en mayor detalle aspectos específicos del tema [10]. En conjunto, estos datos reflejan una marcada preferencia por el enfoque cuantitativo, complementado por métodos mixtos y cualitativos que aportan profundidad al análisis tal como se visualiza en la Fig. 4.

Fig. 4: Tipo de estudio

D. ¿Cuáles son las causas del limitado uso de la energía solar para el consumo humano?

La sociedad debido a la poca difusión y poco conocimiento de los beneficios que ofrece la energía solar no está utilizando el potencial de esta fuente de energía para el uso cotidiano debido al desconocimiento generalizado sobre el potencial y los beneficios de la energía solar, lo cual limita su adopción de manera significativa. Según [9], la falta de información clara sobre cómo la energía solar puede mejorar la calidad de vida y reducir la dependencia de combustibles fósiles representa un obstáculo crucial que debe abordarse mediante campañas de sensibilización y educación. En esa línea, [11] destacan que, aunque las energías solar y eólica son alternativas respetuosas con el medio ambiente, su integración en la vida cotidiana no es ampliamente reconocida; debido al elevado costo y requerimiento de espacios amplios, lo que tiende a desalentar su uso. Sin embargo, actualmente existen sistemas híbridos más compactos y adecuados para entornos urbanos.

La complejidad para pronosticar la producción de electricidad en sistemas fotovoltaicos, como mencionan [12], que aún existe incertidumbre del desempeño de la generación de la energía fotovoltaica; lo que requiere de mediciones in situ y análisis detallados, difíciles de llevar a cabo a gran escala. Asimismo, [13], afirman que la falta de información accesible sobre herramientas de simulación para evaluar el potencial solar limita aún más la comprensión de su aplicabilidad. Además, [14], sostienen que la escasez de datos accesibles y de modelos predictivos adecuados para distintas condiciones climáticas y geográficas restringe la comprensión del rendimiento de la energía solar en diversas regiones.

Otros factores, como las barreras ambientales, también influyen en la adopción de esta tecnología. [15], señalan que la eficiencia de los paneles solares puede verse afectada por factores ambientales, lo cual reduce su atractivo en determinadas áreas. Asimismo, [16], advierten que la falta de datos sobre el impacto del polvo en la eficiencia de los paneles solares limita el conocimiento y, por ende, la adopción de esta tecnología. [17], complementan esta visión al afirmar que la variabilidad en la irradiancia solar, sumada a la ausencia de modelos precisos adaptados a condiciones locales, dificulta una adopción generalizada.

La percepción de altos costos iniciales y la falta de infraestructura adecuada en algunas regiones son factores determinantes en la falta de interés, como indican [18]. En el sector agrícola, [19], resaltan que la idea de que las instalaciones solares y la producción agrícola estén en conflicto ha frenado la adopción de energía solar. Asimismo, [20], argumentan que la escasa investigación sobre el potencial solar en tejados ha llevado a una subutilización de esta fuente renovable en el consumo urbano. [21] subrayan que la falta de infraestructura y conocimiento impide que la energía solar se considere una alternativa viable en muchas áreas.

En términos de mantenimiento y durabilidad, [22] mencionan que la carencia de técnicas de mantenimiento eficientes limita el uso de sistemas solares, mientras que [23] alertan sobre el riesgo de que una alta penetración de energía renovable degrade la vida útil de los transformadores, lo cual genera desconfianza en su implementación. De manera similar, [24] señalan que la percepción de que la energía solar no es tan rentable como el carbón o la energía nuclear afecta su aceptación en el mercado. La falta de servicios de apoyo y herramientas para una gestión efectiva es otro aspecto relevante. [25] indican que, en África, la carencia de servicios como pronósticos meteorológicos limita la adopción de la energía solar, especialmente en zonas afectadas por la acumulación de polvo. Este problema se suma a la falta de conocimiento sobre la viabilidad económica de la energía solar en comparación con otras fuentes, como señalan [26].

La falta de investigación y desarrollo en tecnologías solares se presenta como una barrera persistente [27]; [28]; como es el caso en India, [29] sugieren que la abundancia de fuentes no renovables ha disminuido el interés en explorar la energía solar, a pesar de su disponibilidad. Además, [30]; [31] identifican la complejidad técnica en el monitoreo y mantenimiento de plantas solares como otro factor que impacta negativamente en su percepción. Estos desafíos no solo limitan la adopción de la energía solar, sino que también resaltan la necesidad de una acción coordinada en la educación, la tecnología y las políticas públicas para fomentar una transición hacia fuentes de energía más sostenibles. (Ver detalles en la Fig. 5)

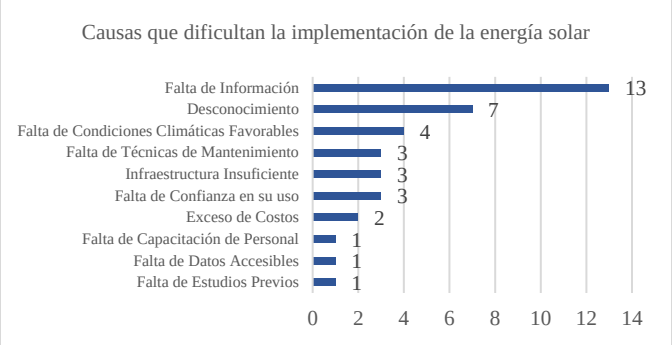

Fig. 5: Causas que dificultan la implementación de la energía solar

E. ¿Qué tecnologías o herramientas se utilizaron y emplearon para llevar a cabo la generación de energía solar?

Las tecnologías utilizadas se basan en paneles solares que convierten la radiación solar en electricidad mediante el uso de células de silicio, que pueden ser policristalinas, monocristalinas o de silicio amorfo, según las especificaciones del Proyecto [20]. Asimismo, [12] Destacan la relevancia de la energía solar fotovoltaica como una de las tecnologías más maduras en el sector, especialmente en India, donde también se utilizan tecnologías complementarias como la energía solar térmica y la fotosíntesis artificial. Estas alternativas permiten diversificar la generación solar y aprovechar la energía en distintas aplicaciones.

Otra tecnología innovadora es el sistema híbrido de energía renovable, que integra paneles solares fotovoltaicos y turbinas eólicas para mejorar la generación energética, como demuestran [11] en su estudio sobre un "árbol fotovoltaico". Esta estructura tridimensional permite capturar energía solar y eólica, maximizando la producción y aumentando la eficiencia en comparación con los sistemas fotovoltaicos fijos. Este diseño es particularmente útil en entornos urbanos, donde el espacio es limitado y se busca optimizar cada recurso. Además, los sistemas de concentración solar (CSP) y los calentadores solares representan enfoques adicionales para captar energía solar en forma de calor, que luego puede ser convertido en electricidad mediante turbinas o utilizado directamente para calefacción. [32] mencionan que la aplicación de estos sistemas, que permiten almacenar la energía en forma de calor, haciéndola disponible incluso cuando no hay sol. [33] agregan que estos concentradores solares pueden integrarse con sistemas térmicos para calentar agua o aire en usos domésticos o industriales, lo que amplía el rango de aplicaciones y reduce la dependencia de combustibles fósiles.

En cuanto a las herramientas empleadas en la investigación, los estudios recurren a modelos avanzados de simulación y software especializados que facilitan la planificación y evaluación del rendimiento de las instalaciones solares. Entre los programas utilizados, destacan PVsyst, System Advisor Model (SAM), y PVGIS (Software de cálculo fotovoltaico online gratuito), los cuales permiten calcular la producción energética y validar la viabilidad de los sistemas en diferentes condiciones ambientales [29]; [13]. Estos modelos se complementan con tecnologías de procesamiento de datos como Microsoft SSIS y técnicas de análisis geoespacial, que ayudan a seleccionar las mejores ubicaciones para las plantas solares mediante herramientas como GIS (Sistema de Información Geográfica) y el método MCDM [34]; [9]. (Ver fig. 6)

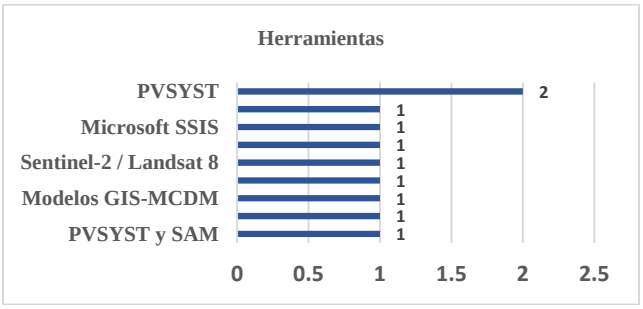

Fig. 6: Herramientas utilizadas para la implementación de la energía solar

Los avances en aprendizaje automático y optimización también han sido cruciales en la mejora de la eficiencia de la energía solar. Herramientas como algoritmos de regresión y técnicas de aprendizaje automático, incluidos modelos KNN y redes neuronales, han sido empleados para el análisis predictivo de la producción energética y para identificar los patrones de rendimiento más eficientes [35]; [12]. Además, explican que el uso de UAVs (vehículos aéreos no tripulados) permite realizar un monitoreo preciso de los paneles solares a través de imágenes térmicas y técnicas de procesamiento de imágenes, como el modelo de aprendizaje profundo VGG19, mejorando así el mantenimiento y optimizando la operatividad de las plantas [24].

También se emplean tecnologías de control avanzadas para mantener la estabilidad de los sistemas solares. [18], mencionan el uso de convertidores CC-CC (corriente continua) y algoritmos MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia), que ayudan a mejorar la calidad de la energía y asegurar la conversión eficiente de la electricidad. [31] destacan el uso de controladores de modo deslizante y el TS-Fuzzy para gestionar la calidad energética en microrredes solares, optimizando el funcionamiento de los sistemas incluso bajo condiciones de sombreado parcial.

Los distintos estudios han evaluado el impacto de factores ambientales, como la acumulación de polvo, la irradiancia y las condiciones climáticas, sobre la eficiencia de los paneles solares. [16] emplearon imágenes satelitales de Sentinel-2 y Landsat 8, así como sensores locales, para recopilar datos sobre el polvo acumulado, y modelos matemáticos como el método de Runge-Kutta para simular la radiación y analizar el impacto de estos factores [17]. Estas metodologías permiten evaluar cómo los factores externos afectan el rendimiento de los paneles y optimizar el diseño y mantenimiento de las instalaciones solares.

En la Fig. 7 se destacan las tecnologías como inversores y paneles solares para la generación de energía. Los autores

priorizan integrar herramientas analíticas con tecnologías clave para optimizar sistemas energéticos.

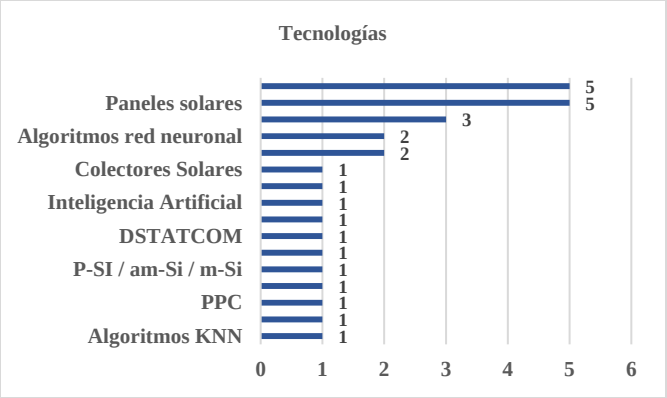

Fig. 7: Tecnologías utilizadas para la implementación de la energía solar

F. ¿Qué energías y fuentes alternativas son más eficientes comparadas a la energía solar?

La comparación entre la energía solar y otras fuentes de energía renovable revela que algunas alternativas pueden ser más eficientes en términos de conversión energética, capacidad de generación y continuidad. Una de las fuentes más eficientes es la energía hidroeléctrica, que puede alcanzar eficiencias de hasta el 90%, gracias a su capacidad para transformar directamente la energía cinética del agua en electricidad, aunque su eficiencia es notable, esta fuente requiere una infraestructura significativa y puede impactar negativamente los ecosistemas fluviales, limitando su implementación en áreas donde estos efectos son críticos [36].

La energía eólica también sobresale en términos de eficiencia, alcanzando tasas de conversión de aproximadamente el 40% en ubicaciones donde los vientos son fuertes y constantes. Su combinación con la energía solar en sistemas híbridos resulta particularmente ventajosa, ya que ambas fuentes se complementan: la energía solar genera electricidad durante el día, mientras que la eólica suple la demanda en horarios nocturnos o en días nublados.

Por otro lado, la energía geotérmica presenta una alta eficiencia y estabilidad en áreas con recursos de calor subterráneos accesibles. Puede ofrecer un suministro constante y confiable, lo que la convierte en una opción rentable para regiones con actividad volcánica o fuentes de calor natural [20]. Su bajo impacto ambiental y sus aplicaciones en calefacción y generación eléctrica la hacen especialmente útil en áreas rurales y remotas [36].

La energía nuclear, con una eficiencia entre el 33% y el 37%, destaca por su alta densidad energética, lo que permite generar grandes cantidades de electricidad en un espacio reducido. Sin embargo, enfrenta desafíos importantes en términos de manejo de residuos, costos de infraestructura y riesgos ambientales, lo que limita su adopción en ciertos contextos [37].

La biomasa, aunque menos eficiente que otras fuentes, se posiciona como una opción sostenible en regiones con abundantes residuos agrícolas o forestales puesto que permite la conversión de desechos en electricidad y calor, promoviendo un modelo de economía circular y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles, lo que la hace viable en áreas rurales con suministro constante de biomasa [38].

En conclusión, aunque estas fuentes alternativas superan a la energía solar en eficiencia bajo ciertas condiciones, la energía solar sigue siendo fundamental en la transición hacia una matriz energética renovable. Su flexibilidad de instalación en áreas urbanas y remotas, junto con su bajo impacto ambiental, la convierten en una opción sostenible y accesible. Además, es una de las tecnologías renovables de más rápido crecimiento y menor costo, reforzando su relevancia como parte de un enfoque energético diversificado y sostenible [17].

G. ¿Qué factores claves contribuyen en la implementación masiva de la energía solar?

La efectividad de la masificación de la energía solar se basa en una serie de factores clave que contribuyen a su adopción y expansión, destacando la innovación tecnológica, los incentivos gubernamentales y la integración estratégica en diversos sectores. En este contexto, la incorporación de tecnologías innovadoras también ha sido un factor decisivo en la efectividad de la energía solar para el consumo humano. Por ejemplo, [11] demuestran que los sistemas híbridos, como el árbol solar fotovoltaico en combinación con turbinas eólicas, han logrado incrementar la producción energética en un 50.8% comparado con sistemas solares tradicionales. Además, señalan que el uso de recubrimientos especiales y sistemas de limpieza automatizados en paneles solares permite mantener la eficiencia en entornos polvorientos o áridos, extendiendo así la viabilidad de estas instalaciones en condiciones extremas.

Las herramientas tecnológicas avanzadas han demostrado ser fundamental para optimizar la energía solar; Es así que el uso de programas como PVsyst y SAM permite a los usuarios proyectar con precisión el rendimiento de 98.63% de los paneles fotovoltaicos (m-Si) y tomar decisiones informadas sobre su instalación, lo cual reduce 8.54% el riesgo asociado a la inversión y promueve su incorporación [13]; [14].

Asimismo, los algoritmos de aprendizaje automático, como la regresión KNN, permiten crear modelos predictivos avanzados para optimizar la producción energética de los sistemas solares, aumentando la confiabilidad en 98.63% de los paneles solares en los proyectos [12]; [14].

La optimización de las técnicas de mantenimiento constituye otro factor clave para el desarrollo de la energía solar. En áreas áridas y desérticas, la acumulación de polvo puede reducir considerablemente la eficiencia de los paneles solares. Se propone el uso de recubrimientos superhidrofóbicos que mejoran la autolimpieza de los paneles [32]; se enfatiza la importancia de la limpieza automatizada en estas zonas para asegurar el rendimiento continuo de los sistemas [20].

Por otro lado, los incentivos gubernamentales mediante marcos normativos han sido determinantes en la expansión de la energía solar. Países como Indonesia, Pakistán, Malasia y Rusia han establecido objetivos energéticos ambiciosos [39]; [41], mientras que India ha logrado una capacidad instalada de 175 GW en energías renovables, de los cuales 100 GW corresponden a energía solar [20]; [42]; [46].

En conjunto, el progreso tecnológico, los mecanismos de apoyo económico y el incremento de la conciencia ambiental han posicionado a la energía solar como una fuente clave para cubrir la demanda energética global de forma sostenible [35]; [37]; [47].

IV. DISCUSIÓN

La viabilidad de los proyectos de energía solar en la industria ha sido ampliamente analizada en diversos estudios, revelando avances significativos en su implementación y rendimiento. [9] identificaron que factores como el costo de operación y mantenimiento influyen significativamente en la clasificación de las plantas solares, destacando el alto rendimiento de la planta Unchahar en comparación con otras. Este enfoque, que considera tanto la eficiencia operativa como los costos asociados, resulta esencial para maximizar el impacto de los sistemas fotovoltaicos en entornos industriales, donde la optimización de recursos es crucial.

La incorporación de tecnologías híbridas también ha mostrado ser altamente viable. [11] reportaron un aumento del 29.29% en la producción de energía al integrar un sistema híbrido solar-eólico, alcanzando potencias máximas de 65.77 vatios. Este tipo de innovaciones demuestra el potencial de las tecnologías híbridas para incrementar la eficiencia energética en aplicaciones industriales, particularmente en regiones con recursos renovables diversos. Asimismo, [19] destacaron la eficacia de los sistemas agro-voltaicos, que no solo aumentan la producción mundial de tierra en un 73%, sino que también mejoran las condiciones del suelo, como la humedad, mientras reducen la evapotranspiración. Estas soluciones ofrecen un modelo sostenible para la integración de energía solar en sectores agrícolas e industriales.

El uso de modelos predictivos y herramientas avanzadas ha mejorado significativamente la precisión en la planificación y operación de sistemas fotovoltaicos. [12] demostraron que la dinámica del sistema fotovoltaico y los datos específicos de la ubicación son fundamentales para predecir la potencia de salida, logrando un modelo eficiente a medio plazo. Por otro lado, [42] destacaron que herramientas como PV*Sol y Solarius PV han mostrado una alta precisión en la estimación de generación energética, aunque identificaron limitaciones en otros programas, subrayando la necesidad de mejorar las tecnologías de simulación para garantizar una implementación más viable.

La optimización del mantenimiento también juega un papel crítico en la viabilidad de las instalaciones solares. [15] demostraron que el uso de robots autónomos en la limpieza de paneles fotovoltaicos puede aumentar la eficiencia en condiciones desérticas al eliminar la necesidad de intervención manual, mientras que [32] resaltaron el uso de recubrimientos superhidrofóbicos, que mejoran la autolimpieza y la transparencia de los paneles, reduciendo los costos de mantenimiento. Estos avances no solo mantienen la operatividad de los sistemas, sino que también hacen que la energía solar sea una opción más viable para entornos con condiciones extremas.

Por otro lado, los avances en inteligencia artificial y aprendizaje automático han mejorado significativamente la gestión de sistemas fotovoltaicos. [24] lograron una precisión del 98% en la segmentación de imágenes y una puntuación F1 del 99% en la clasificación de daños en paneles solares, superando modelos previos. Del mismo modo, [43] desarrollaron un sistema basado en Random Forest que detectó ciberataques en inversores solares con una precisión del 97.36%, mejorando la seguridad en las infraestructuras solares. Estas aplicaciones tecnológicas aumentan la confiabilidad y reducen los riesgos operativos, aspectos clave para su adopción en la industria.

La integración de la energía solar en las industrias no solo tiene beneficios económicos, sino también ambientales. [29] reportaron que una planta solar con una producción anual de 971,271 kWh logró una reducción significativa de costos eléctricos y evitó emisiones de CO_2, haciendo que la transición hacia fuentes de energía renovable sea una opción económica y ecológicamente viable. [36] también destacaron los beneficios económicos a largo plazo, como la generación de empleo y la disminución de emisiones, lo que refuerza el impacto positivo de estas tecnologías en la sociedad.

Sin embargo, existen desafíos asociados a la alta penetración de la energía solar. [23] observaron que el rendimiento de los transformadores puede verse afectado negativamente por el aislamiento y la vida útil, especialmente en sistemas con alta densidad de generación fotovoltaica. Esto subraya la importancia de desarrollar infraestructuras eléctricas robustas y sistemas de compensación, como los mencionados por [18], quienes demostraron que el uso de DSTATCOM (Compensador Síncrono Estático) reduce significativamente los armónicos en el sistema, mejorando la calidad de la energía. Debido a esto, los avances tecnológicos, como los sistemas híbridos, los modelos predictivos y las herramientas de mantenimiento automatizadas, han mejorado significativamente la viabilidad de la energía solar en la industria. Sin embargo, aún persisten desafíos técnicos, como la necesidad de infraestructura eléctrica adecuada y soluciones para mitigar los impactos de la alta penetración de energía solar. Estos aspectos resaltan la importancia de la investigación continua y la implementación estratégica para consolidar la energía solar como una solución clave en el panorama energético global.

V. CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre los proyectos de energía solar en la industria pone en evidencia la viabilidad y el impacto de esta tecnología como una solución energética sostenible. Entre los

hallazgos clave, destaca que la selección adecuada de sitios para las plantas solares es fundamental para maximizar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, lo cual puede lograrse mediante el uso de herramientas predictivas avanzadas y simulaciones. Estos enfoques permiten a los desarrolladores tomar decisiones más informadas y reducir riesgos asociados a la inversión inicial.

Asimismo, la integración de tecnologías híbridas y sistemas innovadores, como los agrivoltaicos y los sistemas solares-eólicos, ha demostrado ser crucial para incrementar la producción energética y optimizar el uso de recursos. Estas estrategias no solo mejoran la eficiencia de las plantas solares, sino que también diversifican su aplicabilidad, promoviendo la sostenibilidad en sectores industriales, agrícolas y urbanos. El mantenimiento automatizado y las innovaciones en recubrimientos han sido identificados como factores decisivos para mantener la eficiencia de los paneles solares en condiciones desafiantes. Estas tecnologías reducen costos operativos y aumentan la vida útil de las instalaciones, lo que refuerza la viabilidad económica de los proyectos solares a largo plazo.

A pesar de que la revisión de la literatura fue completa, se encontraron algunas limitaciones que podrían influir en los resultados y su aplicabilidad en contextos más amplios. Una de las principales es la incertidumbre en la irradiancia solar y la cobertura de nubes, lo que afecta la precisión de las estimaciones de generación de energía y puede limitar la confiabilidad de los modelos predictivos en condiciones climáticas variables. Además, la disponibilidad de datos y la variabilidad en las condiciones climáticas representan desafíos para ajustar los modelos a entornos más diversos, especialmente en fases críticas como la de crecimiento de la irradiancia solar, donde los resultados han mostrado inconsistencias. Otra limitación importante es que algunos métodos analizados fueron probados únicamente en condiciones climáticas soleadas, lo que significa que su efectividad en condiciones de sombra o climas diferentes no ha sido evaluada. Esto subraya la necesidad de ampliar el rango de pruebas para garantizar resultados más representativos. Asimismo, la falta de datos a largo plazo sobre el impacto de la energía solar en componentes clave, como los transformadores eléctricos, dificulta evaluar completamente los efectos en la infraestructura energética y su sostenibilidad en el tiempo.

Para futuras investigaciones, se recomienda abordar estas limitaciones ampliando los conjuntos de datos utilizados, incorporando condiciones climáticas más diversas y evaluando el impacto de la energía solar en la infraestructura a largo plazo. Además, sería beneficioso integrar parámetros climáticos adicionales en los modelos predictivos y continuar explorando innovaciones tecnológicas que optimicen la eficiencia de las plantas solares en diferentes contextos. Estas acciones no solo mejorarán la viabilidad de los proyectos solares, sino que también contribuirán a su consolidación como una solución clave en la transición hacia una matriz energética más sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la docente metodóloga María Elena Alca Cucho, en la elaboración de la presente RSL y a la Universidad Tecnológica del Perú, por incentivar la investigación en el país.

REFERENCIAS

[1] M. G. Antonelli, P. Beomonte Zobel, A. De Marcellis, and E. Palange, “Autonomous robot for cleaning photovoltaic panels in desert zones,” *Mechatronics*, vol. 68, 2020, doi: 10.1016/j.mechatronics.2020.102372.

[2] A. Kaleshwarwar and S. Bahadure, “Assessing dynamics of urban solar PV power generation using grid divisional method,” *Energy Build*, vol. 325, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114935.

[3] T. Manirathinam *et al.*, “Sustainable renewable energy system selection for self-sufficient households using integrated fermatean neutrosophic fuzzy stratified AHP-MARCOS approach,” *Renew Energy*, vol. 218, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.119292.

[4] C. E. y R. R. Toronto, *A Step-by-Step Guide to Conducting an Integrative Review*. Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-37504-1.

[5] S. U. Salma and S. Ray, “Study of the effect of SCR and controller gains on system stability in a grid connected solar plant,” in *2020 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition - Latin America, T and D LA 2020*, 2020. doi: 10.1109/TDLA47668.2020.9326172.

[6] V. K. Tatikayala, S. Dixit, and Y. Sawle, “Integrated Energy Management System for Microgrid based on Renewable Energy Sources,” *International Journal of Electrical and Electronics Research*, vol. 11, no. 2, pp. 272–282, 2023, doi: 10.37391/IJEER.110205.

[7] G. Urrútia and X. Bonfill, “Declaración PRISMA:una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y meta-anályses,” 2010.

[8] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” Mar. 29, 2021, *BMJ Publishing Group*. doi: 10.1136/bmj.n71.

[9] S. Singh and S. Powar, “Putting into practice a decision-making framework for a thorough performance and location evaluation of solar photovoltaic plants in India from distinctive climate zones,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 50, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.esr.2023.101202.

[10] C. Bernal, “Métodologia de la investigación,” 2016.

[11] H. Bantikatla *et al.*, “Design and fabrication of hybrid solar silicon PV system,” in *Materials Today: Proceedings*, 2019, pp. 761–766. doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.126.

[12] B. Wickramasinghe and P. D. Asanka, "Forecasting of Medium-Term Energy Output of On-Grid Rooftop Photovoltaic Arrays -Case Study for a Sri Lankan Solar Panel Installer," in *Proceedings - International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2023*, 2023. doi: 10.1109/SCSE59836.2023.10214986.

[13] A. Kaleshwarwar and S. Bahadure, "Validating the credibility of solar simulation tools using a real-world case study," *Energy Build*, vol. 301, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113697.

[14] V. Shukla, A. Sant, P. Sharma, M. Nayak, and H. Khatri, "An explainable artificial intelligence based approach for the prediction of key performance indicators for 1 megawatt solar plant under local steppe climate conditions," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 131, 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2023.107809.

[15] M. G. Antonelli, P. Beomonte Zobel, A. De Marcellis, and E. Palange, "Autonomous robot for cleaning photovoltaic panels in desert zones," *Mechatronics*, vol. 68, 2020, doi: 10.1016/j.mechatronics.2020.102372.

[16] R. M. Arias Velásquez and T. T. Pando Ezcurra, "Dust analysis in photo-voltaic solar plants with satellite data," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 1, 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102314.

[17] S. N. Md Sabudin and N. Mohd Jamil, "Mathematical model for predicting the performance of photovoltaic system with delayed solar irradiance," *Kuwait Journal of Science*, vol. 51, no. 2, 2024, doi: 10.1016/j.kjs.2024.100207.

[18] V. Yarlagadda, G. Lakshminarayana, G. Ambati, and G. A. Karthika, *FFT Analysis and Power Quality Improvement in Grid Connected Solar Power Plant with MPPT Algorithm*, vol. 893 LNEE. 2022. doi: 10.1007/978-981-19-1742-4_3.

[19] S. Panda, R. Kumar, B. Panda, B. Panda, and A. Raj, "Combining solar panels with plants for sustainable energy and food production: state of the art," *International Journal of Applied Power Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 434–441, 2024, doi: 10.11591/ijape.v13.i2.pp434-441.

[20] K. Mehta, V. Shukla, N. D. Karelia, and G. Patel, "Assessment of Solar Energy Generation Potential on Roof-tops using Image Processing," in *2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology, ASIANCON 2022*, 2022. doi: 10.1109/ASIANCON55314.2022.9908699.

[21] A. Atri and A. Khosla, "Solar Photovoltaic Installation in Eight Educational Institutions in District Faridabad: A Case Study," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2024. doi: 10.1007/978-981-99-9235-5_4.

[22] J. Ballestín-Fuertes *et al.*, "Novel utility-scale photovoltaic plant electroluminescence maintenance technique by means of bidirectional power inverter controller," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/app10093084.

[23] A. Kumari, J. Patra, N. Pal, and N. Kumar, "Impact of Solar Panel on the Transformer Performance: A Case Study," *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering*, vol. 44, no. 3, pp. 1197–1206, 2020, doi: 10.1007/s40998-019-00300-9.

[24] A. Shaik, A. Balasundaram, L. S. Kakarla, and N. Murugan, "Deep Learning-Based Detection and Segmentation of Damage in Solar Panels," *Automation*, vol. 5, no. 2, pp. 128–150, 2024, doi: 10.3390/automation5020009.

[25] M. C. Aidara *et al.*, "Contribution to the building of a weather information service for solar panel cleaning operations at Diass plant (Senegal, Western Sahel)," *Open Geosciences*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.1515/geo-2022-0449.

[26] S. Sukumaran, K. Sudhakar, A. F. Yusop, I. Kirpichnikova, and E. Cuce, "Solar farm: siting, design and land footprint analysis," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 17, pp. 1478–1491, 2022, doi: 10.1093/ijlct/ctac107.

[27] R. Anand, Y. K. Chauhan, V. Yadav, and R. Pachauri, "Experimental system design for online characterization and performance analysis of PV module under distinguish environmental conditions," *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, vol. 7, no. 28, 2020, doi: 10.4108/EAI.13-7-2018.163838.

[28] U. O. Retnaningsih, "Women roles for saving energy and net-zero emissions for solar energy," in *E3S Web of Conferences*, 2024. doi: 10.1051/e3sconf/202450604001.

[29] J. R. Hanni, M. Bukya, P. Kumar, and N. Gowtham, "Analysis and Modeling of 581 kWp Grid-Integrated Solar Photovoltaic Power Plant of Academic Institution Using PVsyst †," *Engineering Proceedings*, vol. 59, no. 1, 2023, doi: 10.3390/engproc2023059142.

[30] Á. H. Herraiz, A. P. Marugán, and F. P. G. Márquez, *Optimal Productivity in Solar Power Plants Based on Machine Learning and Engineering Management*, vol. Part F46. 2019. doi: 10.1007/978-3-319-93351-1_77.

[31] V. K. Tatikayala, S. Dixit, and Y. Sawle, "Integrated Energy Management System for Microgrid based on Renewable Energy Sources," *International Journal of Electrical and Electronics Research*, vol. 11, no. 2, pp. 272–282, 2023, doi: 10.37391/IJEER.110205.

[32] M. Ferrari and F. Cirisano, "Wetting Properties of Simulated and Commercial Contaminants on High Transmittance Superhydrophobic Coating," *Nanomaterials*, vol. 13, no. 18, 2023, doi: 10.3390/nano13182541.

[33] Y. Hazarathaiah and B. V. Rami Reddy, "Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Controllers for Single Stage Grid Connected PV System," in *Proceedings of 2022 1st IEEE International Conference on Industrial Electronics: Developments and Applications, ICIDeA 2022*, 2022, pp. 129–134. doi: 10.1109/ICIDeA53933.2022.9970182.

[34] L. C. Arvayo and y. J. M. G. Pizaña, "A geospatial approach for the estimation of photovoltaic power generation in Sonora," *Investigaciones Geograficas*, no. 113, Apr. 2024, doi: 10.14350/rig.60765.

[35] S. U. Ahmed, M. Affan, M. I. Raza, and M. Harris Hashmi, "Inspecting Mega Solar Plants through Computer Vision and Drone Technologies," in *Proceedings - 2022 International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2022*, 2022, pp. 18–23. doi: 10.1109/FIT57066.2022.00014.

[36] M. Al-Shidhani, A. A. Mayasi, and M. A. Lawati, "Performance Evaluation of 1 MW On-grid Solar Photovoltaic Plant with Single Axis Tracker in Muscat, Oman," in *58th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2023*, 2023. doi: 10.1109/UPEC57427.2023.10294416.

[37] L. Govindarajan, M. F. B. M. Batcha, and M. K. B. Abdullah, "Performance assessment of large-scale rooftop solar PV system: a case study in a Malaysian Public University," *Discover Applied Sciences*, vol. 6, no. 6, 2024, doi: 10.1007/s42452-024-06007-9.

[38] A. A. Tunik and M. Yu Tolstoy, "Research of solar energy potential in the Eastern Siberia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. doi: 10.1088/1755-1315/751/1/012023.

[39] J. N. Zatsarinnaya, D. I. Amirov, and L. V. Zemskova, "Analysis of the environmental factors influence on the efficiency of photovoltaic systems," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/552/1/012033.

[40] S. U. Ahmed, M. Affan, M. I. Raza, and M. Harris Hashmi, "Inspecting Mega Solar Plants through Computer Vision and Drone Technologies," in *Proceedings - 2022 International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2022*, 2022, pp. 18–23. doi: 10.1109/FIT57066.2022.00014.

[41] V. Shukla, A. Sant, P. Sharma, M. Nayak, and H. Khatri, "An explainable artificial intelligence based approach for the prediction of key performance indicators for 1 megawatt solar plant under local steppe climate conditions," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 131, 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2023.107809.

[42] R. Anand, Y. K. Chauhan, V. Yadav, and R. Pachauri, "Experimental system design for online characterization and performance analysis of PV module under distinguish environmental conditions," *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, vol. 7, no. 28, 2020, doi: 10.4108/EAI.13-7-2018.163838.

[43] J. J. V. Díaz, M. Vlaminck, D. Lefkaditis, S. A. O. Vargas, and H. Luong, "Solar panel detection within complex backgrounds using thermal images acquired by uavs," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 21, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/s20216219.

[44] A. Kaleshwarwar and S. Bahadure, "Validating the credibility of solar simulation tools using a real-world case study," *Energy Build*, vol. 301, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113697.

[45] J. H. Lee, J. Shin, and J. T. Seo, "Solar Power Plant Network Packet-Based Anomaly Detection System for Cybersecurity," *Computers, Materials and Continua*, vol. 77, no. 1, pp. 757–779, 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.039461.