

# Bibliometric analysis: The role of technological innovations in the integration of renewable energy into smart cities for sustainable urban development

S. Jonathan R.-F.<sup>1\*</sup>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Peru. [srojasfl@autonoma.edu.pe](mailto:srojasfl@autonoma.edu.pe)

*Abstract—This study addresses the fragmentation of research on technological innovations for the integration of renewable energy in smart cities, addressing the lack of systematic mapping of trends and knowledge gaps. To this end, a bibliometric analysis of scientific production (2018–2025) was conducted using a Boolean search strategy in databases, analysis in RStudio and VOSviewer to map keyword co-occurrences, collaborative networks, author and journal metrics, and an author–term–source Sankey diagram. The results revealed three clusters: one focused on "clean energy," "renewables," and "artificial intelligence"; another on "sustainable development," "energy policy," and "smart grids"; and an emerging cluster on "energy production." The collaboration map placed India as the main node, connected to China, Germany, and the US. Among the authors, Abed AM stood out with 167 citations, followed by Alsharif MH (26), Brent AC (9), Kumar P and Nedungadi P (8 each). The journals Energies and Energy Reports led the way with 34 and 32 publications. The Sankey diagram illustrated knowledge pathways between researchers, topics, and sources, highlighting specialization and collaborative opportunities. These findings offer a roadmap to guide policies and foster interdisciplinary collaboration for more sustainable cities.*

*Keywords-- Bibliometric analysis, Technological innovations, Renewable energy, Smart cities, Sustainable urban development.*

# Análisis bibliométrico: Papel de las innovaciones tecnológicas en la integración de las energías renovables en las ciudades inteligentes para el desarrollo urbano sostenible

S. Jonathan R.-F.<sup>1\*</sup>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Peru. [srojasfl@autonoma.edu.pe](mailto:srojasfl@autonoma.edu.pe)

**Resumen—** El estudio aborda la fragmentación de la investigación sobre innovaciones tecnológicas para la integración de energías renovables en ciudades inteligentes, para solventar la falta de un mapeo sistemático de tendencias y vacíos de conocimiento. Para ello, se realizó un análisis bibliométrico de la producción científica (2018–2025) empleando una estrategia de búsqueda con términos booleanos en bases de datos, análisis en RStudio y VOSviewer para mapear coocurrencias de palabras clave, redes colaborativas, métricas de autores y revistas, y un diagrama de Sankey autor–término–fuente. Los resultados revelaron tres clústeres: uno centrado en “energía limpia”, “renovables” e “inteligencia artificial”; otro en “desarrollo sostenible”, “política energética” y “redes inteligentes”; y un emergente en “producción de energía”. El mapa de colaboración situó a India como nodo principal, conectada con China, Alemania y EE.UU. Entre los autores, Abed AM destacó con 167 citas, seguido de Alsharif MH (26), Brent AC (9), Kumar P y Nedungadi P (8 cada uno). Las revistas *Energies* y *Energy Reports* lideraron la difusión con 34 y 32 publicaciones. El diagrama Sankey ilustró rutas de conocimiento entre investigadores, temáticas y fuentes, evidenciando especialización y oportunidades colaborativas. Estos hallazgos ofrecen hoja de ruta para orientar políticas y fomentar colaboración interdisciplinar para ciudades más sostenibles.

**Palabras clave—** Análisis bibliométrico, Innovaciones tecnológicas, Energías renovables, Ciudades inteligentes, Desarrollo urbano sostenible

## I. INTRODUCCIÓN

Las ciudades inteligentes recurren cada vez más a innovaciones tecnológicas avanzadas para integrar fuentes de energía renovables en sus infraestructuras urbanas [1]. Un elemento central de estas innovaciones es el desarrollo de redes inteligentes basadas en las TIC (Tecnologías de la información y la comunicación) y el IoT (internet de las cosas), que facilitan la monitorización en tiempo real, las operaciones de autorreparación y el equilibrio dinámico de carga [2]. Estas redes inteligentes aprovechan los recursos renovables distribuidos, como la solar y la eólica, mediante la agregación de datos de numerosos sensores y medidores inteligentes para optimizar la generación, distribución y consumo de energía [3]. Un factor clave en esta transformación es el despliegue de infraestructura de medición avanzada (AMI, por sus siglas en inglés) y redes de sensores. Estos sistemas recopilan datos granulares sobre el consumo y la producción de energía, que posteriormente se analizan

mediante algoritmos predictivos y análisis de big data. Este enfoque basado en datos no solo facilita la tarificación dinámica y la gestión de la respuesta a la demanda, sino que también permite la coordinación precisa de los recursos energéticos distribuidos, lo que se traduce en una mayor fiabilidad de la red y una reducción del desperdicio energético general [4,5].

Los innovadores sistemas híbridos de energía renovable son otro pilar de la ciudad inteligente moderna. Al combinar múltiples fuentes de energía, como la solar fotovoltaica, la eólica, la biomasa e incluso tecnologías de vanguardia como los nanogeneradores triboeléctricos, estos sistemas superan los desafíos inherentes a la intermitencia de las energías renovables individuales [6]. Junto con soluciones de almacenamiento de energía como baterías, pilas de combustible y almacenamiento térmico avanzado, estos sistemas garantizan un suministro energético continuo y estable [7]. El proceso de integración se potencia aún más a nivel de edificios y distritos mediante sistemas inteligentes de gestión energética. Se están implementando Sistemas de Gestión de Energía Doméstica, Sistemas de Gestión de Edificios e incluso marcos para Distritos de Energía Positiva para facilitar las actividades de los prosumidores, donde los edificios no solo consumen energía, sino que también generan y comparten el excedente de energía [8]. Estas innovaciones son fundamentales para lograr balances energéticos netos cero o incluso positivos en zonas urbanas, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía centralizadas y disminuyendo la huella de carbono [9,10].

Las estrategias de control avanzadas, como el Control Predictivo de Modelos y las redes neuronales artificiales, desempeñan un papel fundamental en la optimización de los flujos de energía a través de estos sistemas integrados [11,12]. Al aprovechar datos en tiempo real, estas técnicas ajustan dinámicamente la distribución energética en función de la demanda real y la producción renovable prevista [13]. Este control adaptativo no solo mejora los tiempos de respuesta a las fluctuaciones energéticas, sino que también minimiza las pérdidas del sistema, mejorando así la eficiencia energética general [14].

El análisis bibliométrico de las innovaciones tecnológicas en la integración de energías renovables en las ciudades inteligentes es crucial para trazar tendencias de investigación e identificar trabajos influyentes en un campo en rápida evolución [15]. Este enfoque analítico ofrece un examen sistemático de publicaciones académicas, revelando patrones de colaboración entre investigadores e instituciones, a la vez que destaca temas emergentes y áreas poco exploradas [16,17]. Los hallazgos obtenidos informan a los responsables políticos, urbanistas y líderes del sector, proporcionando evaluaciones basadas en la evidencia que orientan la inversión, la formulación de políticas y el desarrollo estratégico [18]. En las ciudades inteligentes, la integración efectiva de las energías renovables requiere un enfoque multidisciplinario que abarca la ingeniería, las ciencias ambientales, las tecnologías de la información y la planificación urbana [19,20]. Esta visión integral impulsa la transición hacia ecosistemas urbanos ambientalmente responsables y tecnológicamente avanzados. Estos conocimientos bibliométricos impulsan estrategias dinámicas para futuros urbanos sostenibles.

El objetivo principal de este estudio es analizar de forma sistemática la producción científica en torno a las innovaciones tecnológicas para la integración de energías renovables en las ciudades inteligentes, buscando comprender la evolución y consolidación del conocimiento que sustenta estrategias de desarrollo urbano sostenible. Este análisis permite identificar las principales tendencias y avances en el uso de fuentes limpias, facilitando así la toma de decisiones basadas en evidencia tanto para investigadores como para gestores públicos. En paralelo, se persigue explorar las redes colaborativas e interdisciplinarias entre investigadores y organizaciones, resaltando cómo la sinergia entre diferentes áreas del saber impulsa soluciones innovadoras. Asimismo, se pretende detectar vacíos en la literatura que indiquen oportunidades para futuras investigaciones y el desarrollo de metodologías alternativas. Además, se evalúa el impacto de las publicaciones a partir de indicadores bibliométricos, lo que enriquece la comprensión de la relevancia de cada aportación. Este estudio, por lo tanto, no solo mapea el estado actual de la ciencia en esta área, sino que también sienta las bases para el diseño de políticas y estrategias que favorezcan la integración de tecnologías limpias en entornos urbanos, contribuyendo a la creación de ciudades resilientes y sostenibles. Este enfoque inspira futuras investigaciones.

## II. METODOLOGIA

La metodología de este estudio se fundamentó en un enfoque bibliométrico sistemático aplicado a la producción científica sobre innovaciones tecnológicas en la integración de energías renovables en ciudades inteligentes. Se seleccionó la base de datos Scopus para el periodo 2018–2025 — excluyendo años anteriores debido a la inexistencia de

registros relevantes anteriores— y se incluyeron únicamente artículos originales publicados en inglés. Para garantizar la rigurosidad en la recopilación de datos, se empleó Excel 2021 en la depuración de registros (eliminación de duplicados y homogeneización de nombres de autores e instituciones), VOSviewer en la construcción y visualización de redes de coocurrencia de palabras clave y colaboración entre países, y RStudio (paquete Bibliometrix) en el cálculo de métricas bibliométricas como índices H, g-index y m-index, así como en la generación de estadísticas descriptivas y la evolución temporal de la producción. La estrategia de búsqueda inicial se diseñó mediante la siguiente ecuación booleana, que combinó términos clave sobre energía renovable, innovación tecnológica, integración y componentes energéticos:

Tabla 1. Estrategia usada en la investigación del análisis bibliométrico.

Criterio	Descripción
Base de datos	Scopus (2018–2025)
Tipo de documento	Artículos originales
Idioma	Inglés
Herramientas	Excel 2021, VOSviewer, RStudio
Ecuación de búsqueda	( "renewable energy" AND "sustainable energy" AND "clean energy" OR "green energy" ) AND ( "technological innovation" OR "technology" OR "advancement" AND "development" ) AND ( "integration" OR "incorporation" OR "implementation" OR "adoption" ) AND ( "solar" OR "wind" OR "biomass" OR "hydro" ) AND ( "grid" OR "system" OR "network" OR "infrastructure" ) AND ( "efficiency" OR "performance" OR "optimization" OR "management" )

A partir de la exportación de metadatos en formato CSV desde Scopus, se realizó la limpieza y normalización de la información en Excel 2021; luego, en RStudio se extrajeron indicadores cuantitativos (número de publicaciones, citas acumuladas, revistas y países más productivos) y se elaboraron gráficos de barras y líneas para visualizar tendencias. Con VOSviewer se generaron mapas de calor y diagramas de redes que ilustraron la coocurrencia de palabras clave, la colaboración internacional y la cocitación de autores, permitiendo identificar clústeres temáticos y nodos centrales. Finalmente, los resultados se consolidaron en tablas y se interpretaron cualitativamente para detectar vacíos de investigación y proponer líneas futuras que fortalezcan la integración sostenible de tecnologías limpias en entornos urbanos.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Figura 1 muestra la visualización de la red de coocurrencia de palabras claves las cuales revelan grupos temáticos críticos en el campo de las innovaciones tecnológicas que impulsan la integración de las energías renovables en las ciudades inteligentes. El grupo verde se centra en conceptos fundamentales como la energía limpia, las energías renovables, la integración energética y la inteligencia artificial. Este grupo temático enfatiza el marco general de los sistemas de energía limpia y señala el papel emergente de la

IA en la optimización de estas tecnologías. La relevancia de la IA sugiere una creciente tendencia de investigación hacia la automatización, el análisis predictivo y la toma de decisiones inteligente en los sistemas energéticos. Mientras que el grupo rojo está fuertemente arraigado en palabras clave como desarrollo sostenible, política energética, energía solar, producción de hidrógeno y redes inteligentes. Este grupo conecta la tecnología con la gobernanza, lo que subraya la necesidad de marcos de políticas e infraestructura sistémica, como las redes inteligentes, para apoyar la integración de las energías renovables. El énfasis en las tecnologías solares y de hidrógeno refleja los enfoques actuales de innovación y su potencial escalabilidad para la sostenibilidad urbana [21,22]. Un clúster azul con términos más aislados, como la producción de energía, parece abarcar nichos o áreas emergentes. El menor tamaño de los nodos sugiere una menor frecuencia, pero posiblemente una alta relevancia, lo que indica que los temas están cobrando impulso en la literatura reciente.

La interconexión entre los clústeres indica una estructura de conocimiento dinámica, donde las palabras clave tecnológicas, impulsadas por políticas y orientadas a la sostenibilidad se refuerzan mutuamente. Esta sinergia sugiere que la integración exitosa de las energías renovables en las ciudades inteligentes depende no solo de la innovación en ingeniería, sino también de la gobernanza, el diseño interdisciplinario y los sistemas inteligentes [23,24]. La representación de este panorama de investigación maduro, pero en evolución, donde la IA, la infraestructura inteligente y las políticas de desarrollo sostenible convergen para dar forma al futuro de la energía en los ecosistemas urbanos. Estos mapas de coocurrencia son fundamentales para identificar lagunas en la investigación y orientar las vías estratégicas de innovación [25].

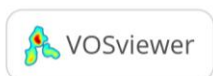
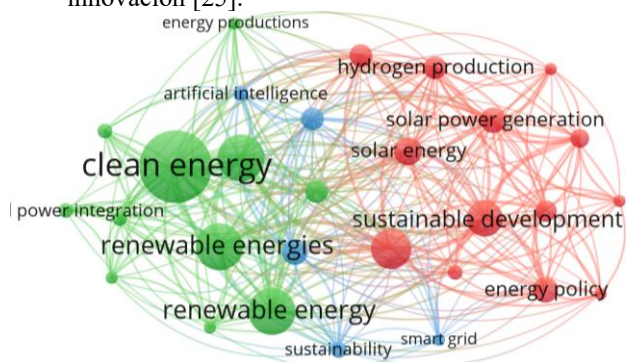


Figura 1. Coocurrencia de palabras claves en innovaciones tecnológicas en la integración de las energías renovables en las ciudades inteligentes.

El mapa de redes colaborativas entre países involucrados en innovaciones tecnológicas para la integración de energías renovables en ciudades inteligentes destaca alianzas globales clave y centros de investigación [19], ver Figura 2. La intensidad de la colaboración se representa visualmente mediante gradientes de color, donde los tonos más oscuros indican mayores contribuciones o vínculos. India emerge como el nodo central de esta red, lo que refleja un rol sólido y activo en el fomento de la cooperación internacional. Le siguen de cerca China, Alemania y Estados Unidos, cada uno sirviendo como puntos de unión cruciales que conectan múltiples regiones mediante vínculos de colaboración. La presencia de fuertes líneas de interconexión entre estos países sugiere sólidas colaboraciones de investigación bilaterales y multilaterales. Particularmente notables son las conexiones entre los gigantes asiáticos y las naciones occidentales tecnológicamente avanzadas, lo que subraya un panorama multipolar de innovación donde tanto las economías consolidadas como las emergentes contribuyen a soluciones de energía inteligente [26].

Country Collaboration Map

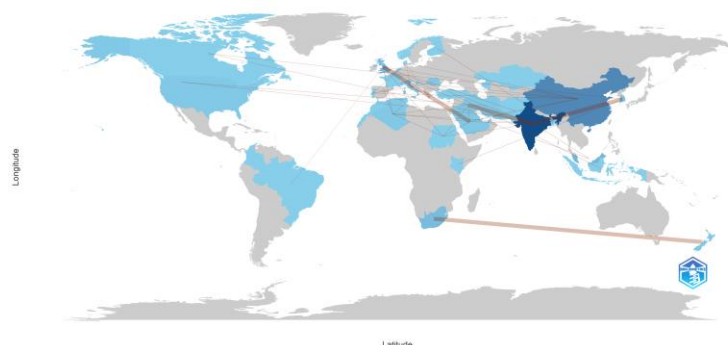


Figura 2. Mapas de redes de colaboración de países.

Este mapa también revela una agenda de investigación globalizada, con la participación activa de países de Europa, América y partes de Asia. La visualización refleja cómo la urgencia del desarrollo urbano sostenible trasciende fronteras e ideologías, facilitando esfuerzos transdisciplinarios e intercambio de conocimientos. Los países que tradicionalmente no se consideran líderes en innovación, si mantienen buenas conexiones, pueden actuar como colaboradores estratégicos, facilitando la difusión de la investigación regional y su aplicación contextual. Este mapa sirve como una herramienta poderosa para identificar naciones influyentes, alianzas sin explotar y posibles brechas en la colaboración internacional [27]. También refleja un creciente consenso de que resolver los desafíos energéticos urbanos requiere no solo destreza tecnológica, sino también un espíritu de cooperación global. Investigadores, legisladores e instituciones pueden aprovechar esta información para forjar

redes inclusivas y ampliar la capacidad de innovación colectiva [28].

Tabla 2. Principales autores en Innovación Tecnológica para Energías Renovables en Ciudades Inteligentes

Autor	Citas Totales	Publicaciones	Índice H	Año Inicio	País	Afiliación
Abed AM	167	2	1	2023	Arabia Saudita	King Abdulaziz University
Alsharif MH	26	2	2	2023	Arabia Saudita	University of Hafr Al Batin
Brent Ac	9	2	1	2023	Sudáfrica	Stellenbosch University
Kumar P	8	2	2	2024	India	Indian Institute of Technology
Nedungadi P	8	2	2	2024	India	Amrita Vishwa Vidyapeetham

La tabla 2 muestra el top 5 de autores más destacados en el campo de la innovación tecnológica para la integración de energías renovables en ciudades inteligentes, con métricas clave que reflejan productividad, impacto y pertenencia institucional. Todos los autores presentan dos publicaciones, lo que sugiere un equilibrio en las contribuciones recientes, pero con niveles variables de citación e influencia. Abed AM, de la King Abdulaziz University (Arabia Saudita), lidera en citas totales (167) pese a tener un índice H de 1, lo que indica un alto impacto concentrado en una sola publicación. Este patrón sugiere una posible obra referencial o de alto perfil. Alsharif MH, también de Arabia Saudita, tiene un índice H de 2 con 26 citas, lo cual señala una mayor consistencia en su influencia académica. Desde Sudáfrica, Brent AC (Stellenbosch University) ha sido citado 9 veces con un índice H de 1, reflejando un reconocimiento emergente en un contexto geográfico menos representado en este tema. Por su parte, Kumar P y Nedungadi P, ambos de India y activos desde 2024, muestran un desempeño paralelo con 8 citas y un índice H de 2, lo que revela un crecimiento rápido en términos de impacto desde su incorporación al campo. La representación geográfica (Arabia Saudita, Sudáfrica e India) destaca la internacionalización de este ámbito de investigación, subrayando la importancia de contextos diversos en el desarrollo de soluciones energéticas urbanas sostenibles [29]. Esta tabla puede servir como base para identificar actores clave, potenciales colaboraciones y dinámicas regionales en una agenda global de sostenibilidad [30].

Tabla 3. Revistas con mayor contribución: publicaciones, impacto y tendencias

Revista	Numero de publicaciones	Índice H	Citaciones Total	Números de publicaciones	Año
Energies	34	3	1000	34	2023
Energy Reports	32	3	1500	32	2024
International Journal of Hydrogen Energy	17	3	267	17	2018

Applied Energy	12	2	267	12	2018
Journal of Energy Storage	8	2	267	8	2018

La tabla 3 muestra las 5 revistas que lideran la difusión del tema. Destacan tanto en volumen de publicaciones como en impacto medido por citas totales e índice H. Energies y Energy Reports encabezan el listado, con 34 y 32 publicaciones respectivamente. Aunque ambas presentan un índice H de 3, Energy Reports sobresale por sus 1500 citas totales, frente a las 1000 de Energies, lo que sugiere un mayor alcance e influencia académica durante el período considerado (2023-2024). Su reciente actividad editorial indica un interés renovado y creciente en estas temáticas, en sintonía con las prioridades globales en sostenibilidad urbana. Por otra parte, International Journal of Hydrogen Energy, Applied Energy, y Journal of Energy Storage, aunque con menos publicaciones (entre 8 y 17), tienen un número idéntico de citas (267). Esto denota que, a pesar de un volumen menor, han sido altamente efectivos en generar impacto [31]. El índice H de 3 para International Journal of Hydrogen Energy respalda esta hipótesis, mientras que los índices H de 2 para las otras dos sugieren una influencia algo más limitada, aunque aún relevante. En conjunto, la tabla evidencia la existencia de revistas especializadas y consolidadas que marcan tendencia en este campo, así como otras emergentes que logran gran visibilidad con menos publicaciones. Esta información es clave para investigadores que buscan canales de alto impacto para publicar o acceder a investigaciones de vanguardia en energía y ciudades inteligentes [32].

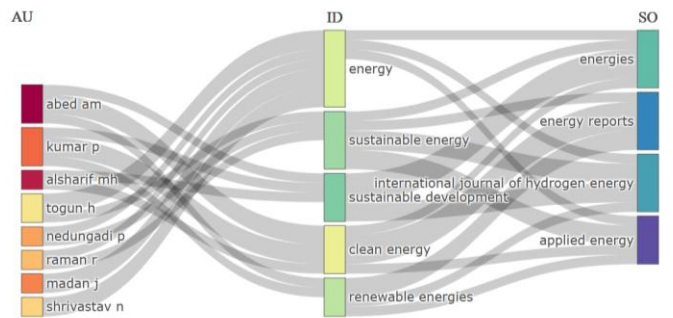


Figura 3. Diagrama de Sankey de las relaciones autor-palabra clave- Revista del tema.

La figura 3 muestra el diagrama de Sankey donde se relaciona a los autores, palabras clave y revistas dentro del ámbito de las innovaciones tecnológicas en energías renovables aplicadas a ciudades inteligentes. En la columna izquierda, se presentan ocho autores como abed am, kumari p, alsharif m, y raman r, cuyas conexiones se extienden hacia palabras claves ubicadas en la columna central, tales como energía, energía sustentable, energías renovables y energía

limpia. Estas conexiones representan los temas principales abordados por cada autor, y la anchura de las líneas sugiere la intensidad o frecuencia de estas asociaciones. La columna derecha muestra las revistas donde se publican estos temas: *Energies*, *Energy Reports* y *Applied Energy*. La vinculación entre palabras clave y estas fuentes permite observar qué revistas están alineadas con determinadas temáticas, como por ejemplo el enfoque en energía del hidrógeno o desarrollo sostenible [32], los cuales aparecen conectados repetidamente con *Energy Reports* y *Applied Energy*. El diagrama permite identificar patrones de especialización tanto a nivel de autor como de revista. Por ejemplo, autores como Nedunagadi R y Togun H parecen centrados en un subconjunto específico de palabras clave, lo que podría reflejar su especialización temática o metodológica. Además, las revistas muestran distinta amplitud temática según las conexiones que las enlazan a múltiples autores y conceptos [33].

**Future Trends and Research Gaps: Bibliometric Analysis of Technological Innovations in the Integration of Renewable Energy into Smart Cities for Sustainable Urban Development:** As global urbanization accelerates, the integration of renewable energy technologies into smart city frameworks is increasingly recognized as a critical enabler of sustainable urban development. Bibliometric analyses conducted in recent years have mapped this evolving landscape, identifying dominant themes, influential authors, and preferred dissemination outlets. However, future research must deepen, diversify, and decentralize these insights to respond effectively to emerging global sustainability challenges.

#### Future Research Trends

- **Rise of Artificial Intelligence and Predictive Systems**  
Technological innovation in smart cities is increasingly driven by artificial intelligence (AI) and machine learning (ML). Future bibliometric analyses are expected to reflect a sharp increase in publications focusing on AI-enabled energy forecasting, real-time grid optimization, and demand-side management. Predictive analytics will be central to smart energy platforms that balance energy efficiency with user behavior and environmental parameters [33].

- **Interoperability and Internet of Energy (IoE)**  
Another emerging trend is the move toward interoperable energy infrastructures facilitated by the IoE—a convergence of the Internet of Things (IoT), blockchain, and edge computing applied to energy systems. These integrated platforms support real-time communication between distributed energy resources and urban management systems, optimizing energy flow in smart cities. Bibliometric trends are likely to track these interdisciplinary collaborations across engineering, data science, and environmental policy [34].

- **Climate Resilience and Decentralized Systems**  
The role of renewable energy in enhancing climate resilience is gaining traction. Upcoming research will focus on microgrids, off-grid solar solutions, and energy storage systems that empower cities to operate sustainably during environmental disruptions [35]. Future bibliometric mappings may highlight rising interest in the co-design of resilient cities by integrating citizen engagement and circular economy models [36].

- **Equity, Ethics, and Governance**  
With a growing awareness of energy justice, the intersection of technological innovation with equity and inclusivity is becoming central. Bibliometric studies are expected to capture this shift, especially as scholars assess the societal impact of energy transitions, digital governance, and participatory urban planning in smart cities [37].

#### Brechas de Investigación

- **Subrepresentación del Sur Global.** A pesar de los avances en este campo, los análisis bibliométricos revelan un desequilibrio geográfico [38]. Regiones como América Latina, África Subsahariana y el Sudeste Asiático siguen estando subrepresentadas en la literatura de alto impacto, a pesar de sus ricas necesidades contextuales y soluciones innovadoras de base. Es necesario profundizar en la exploración bibliométrica de las tendencias regionales, la colaboración intercultural y la localización de la innovación tecnológica [37].

- **Falta de Marcos Metodológicos Estandarizados.** Si bien herramientas bibliométricas como VOSviewer y Bibliometrix han mejorado la visualización de datos y el análisis de redes, aún no existe consenso sobre las mejores prácticas para evaluar la investigación interdisciplinaria en los ámbitos de las ciudades inteligentes y la energía. La armonización de las metodologías bibliométricas mejoraría la comparabilidad y reproducibilidad de los hallazgos entre estudios [39].

- **Enfoque Limitado en las Vías de Integración.** La literatura actual suele tratar las tecnologías de energías renovables, la planificación urbana y las TIC como dominios discretos [40]. Lo que aún se estudia poco son las vías de integración (palancas políticas, modelos de negocio y marcos institucionales) que los conectan en la práctica. Una perspectiva bibliométrica más holística podría unir estos silos y rastrear la convergencia sistémica necesaria para transiciones energéticas impactantes [38].

- **Puntos ciegos temporales y temáticos.** Los análisis bibliométricos existentes tienden a favorecer las palabras clave recientes de alta frecuencia, ignorando el contexto histórico y las innovaciones emergentes de baja



frecuencia [36]. Estos puntos ciegos pueden oscurecer la evolución a largo plazo del pensamiento o el potencial de las tecnologías de nicho (por ejemplo, las pilas de combustible microbianas o los sistemas de almacenamiento biodegradables) para transformar el campo [41].

#### IV. CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico emprendido ofrece una visión integral de las dinámicas de investigación en torno a las innovaciones tecnológicas para la integración de energías renovables en ciudades inteligentes, subrayando resultados clave que permiten orientar futuros esfuerzos científicos y de política pública. En primer lugar, el mapa de coocurrencia de palabras clave identifica tres grandes clústeres temáticos: uno centrado en “energía limpia”, “energías renovables”, “integración energética” e “inteligencia artificial”, que evidencia la preponderancia de la automatización y el análisis predictivo en la optimización de redes inteligentes; otro agrupado en torno a “desarrollo sostenible”, “política energética”, “energía solar”, “producción de hidrógeno” y “redes inteligentes”, que resalta el nexo esencial entre gobernanza, marcos regulatorios y escalabilidad tecnológica; y un tercero emergente, con términos específicos de producción de energía, que apunta a nichos de innovación incipientes. En segundo lugar, el análisis de colaboración internacional muestra a India como nodo principal, en estrecha conexión con China, Alemania y Estados Unidos, lo cual confirma un escenario multipolar donde economías consolidadas y emergentes co-crean soluciones energéticas para la resiliencia urbana. Asimismo, la clasificación de autores pone de relieve a cinco investigadores cuya producción y citación—liderada por Abed AM con 167 citas, seguida de Alsharif MH, Brent AC, Kumar P y Nedungadi P—dan cuenta de un cuerpo de expertos tanto consolidados como de rápida consolidación en el periodo 2023-2024. Paralelamente, el estudio de revistas identifica a *Energies* y *Energy Reports* como los principales canales de difusión, con el mayor volumen de artículos y citas acumuladas, mientras que publicaciones especializadas como *International Journal of Hydrogen Energy*, *Applied Energy* y *Journal of Energy Storage* demuestran un alto impacto pese relativo a un menor número de contribuciones. El diagrama de Sankey corrobora la estrecha articulación entre autores, temáticas y revistas, permitiendo visualizar rutas de conocimiento y evidenciar patrones de especialización. Estas evidencias sugieren que el avance efectivo de la integración de renovables en entornos urbanos requerirá, más allá de la innovación ingenieril, un enfoque interdisciplinario que potencia la gobernanza colaborativa, la equidad en el acceso y la estandarización metodológica. Los resultados documentan avances notables, pero también revelan vacíos regionales y temáticos, ofreciendo una hoja de ruta para futuras investigaciones enfocadas en la ampliación de cobertura geográfica, la consolidación de marcos de evaluación bibliométrica y la identificación de modelos de negocio e

institucionales que impulsan una transición energética urbana verdaderamente sostenible.

#### AGRADECIMIENTO

La investigación fue financiada por la Universidad Autónoma del Perú,

#### REFERENCES

- [1] Blasi, S., Ganzaroli, A., & De Noni, I. (2022). Smartening sustainable development in cities: Strengthening the theoretical linkage between smart cities and SDGs. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103793.
- [2] Shamsuzzoha, A., Nieminen, J., Piya, S., & Rutledge, K. (2021). Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London. *Cities*, 114, 103194.
- [3] Rachmad, Y. E. (2025). Infrastructure and Smart Cities: Danantara's Role in Building a Modern Indonesia. *The United Nations Global Compact*.
- [4] Masik, G., Sagan, I., & Scott, J. W. (2021). Smart City strategies and new urban development policies in the Polish context. *Cities*, 108, 102970.
- [5] Xia, H., Liu, Z., Efremochkina, M., Liu, X., & Lin, C. (2022). Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: A review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104009.
- [6] Gracias, J. S., Parnell, G. S., Specking, E., Pohl, E. A., & Buchanan, R. (2023). Smart cities—a structured literature review. *Smart Cities*, 6(4), 1719-1743.
- [7] Dana, L. P., Salamzadeh, A., Hadizadeh, M., Heydari, G., & Shamsoddin, S. (2022). Urban entrepreneurship and sustainable businesses in smart cities: Exploring the role of digital technologies. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1(2), 100016.
- [8] Ji, T., Chen, J. H., Wei, H. H., & Su, Y. C. (2021). Towards people-centric smart city development: Investigating the citizens' preferences and perceptions about smart-city services in Taiwan. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102691.
- [9] Ramírez-Moreno, M. A., Keshtkar, S., Padilla-Reyes, D. A., Ramos-López, E., García-Martínez, M., Hernández-Luna, M. C., ... & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Sensors for sustainable smart cities: A review. *Applied Sciences*, 11(17), 8198.
- [10] Almalki, F. A., Alsamhi, S. H., Sahal, R., Hassan, J., Hawbani, A., Rajput, N. S., ... & Breslin, J. (2023). Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities. *Mobile Networks and Applications*, 28(1), 178-202.
- [11] Almalki, F. A., Alsamhi, S. H., Sahal, R., Hassan, J., Hawbani, A., Rajput, N. S., ... & Breslin, J. (2023). Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities. *Mobile Networks and Applications*, 28(1), 178-202.
- [12] Guo, Q., & Zhong, J. (2022). The effect of urban innovation performance of smart city construction policies: Evaluate by using a multiple period difference-in-differences model. *Technological Forecasting and Social Change*, 184, 122003.
- [13] Richter, M. A., Hagenmaier, M., Bandte, O., Parida, V., & Wincent, J. (2022). Smart cities, urban mobility and autonomous vehicles: How different cities needs different sustainable investment strategies. *Technological Forecasting and Social Change*, 184, 121857.
- [14] Ahmed, I., Zhang, Y., Jeon, G., Lin, W., Khosravi, M. R., & Qi, L. (2022). A blockchain-and artificial intelligence-enabled smart IoT framework for sustainable city. *International Journal of Intelligent Systems*, 37(9), 6493-6507.
- [15] Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296.
- [16] Alsharif, A. H., Salleh, N. O. R. Z. M. D., & Baharun, R. O. H. A. I. Z. A. T. (2020). Bibliometric analysis. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98(15), 2948-2962.
- [17] Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?. *Scientometrics*, 105, 1809-1831.

- [18]Pradana, M., Elisa, H. P., & Syarifuddin, S. (2023). Discussing ChatGPT in education: A literature review and bibliometric analysis. *Cogent Education*, 10(2), 2243134.
- [19]Persson, O., Danell, R., & Schneider, J. W. (2009). How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. *Celebrating scholarly communication studies: A Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday*, 5(2009), 9-24.
- [20]Kumar, M., George, R. J., & PS, A. (2023). Bibliometric analysis for medical research. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 45(3), 277-282.
- [21]Rachmad, Y. E. (2025). Infrastructure and Smart Cities: Danantara's Role in Building a Modern Indonesia. *The United Nations Global Compact*.
- [22]Huang, J., Bibri, S. E., & Keel, P. (2025). Generative spatial artificial intelligence for sustainable smart cities: A pioneering large flow model for urban digital twin. *Environmental Science and Ecotechnology*, 24, 100526.
- [23]Neoaz, N. (2025). Internet of Things (IoT) and Smart Cities Examine how IoT technologies can improve urban living and infrastructure management. *Author Nahid Neoaz*.
- [24]Al-Racei, M. (2025). The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. *Sustainable development*, 33(1), 508-517.
- [25]Anthony Jnr, B. (2025). Sustainable mobility governance in smart cities for urban policy development—a scoping review and conceptual model. *Smart and sustainable built environment*, 14(3), 649-671.
- [26]He, B., & Bhatti, U. A. (2025). Smart cities and smart networks: AI applications in urban geography and industrial communication. *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, 34(03), 2440122.
- [27]Suhardono, S., Lee, C. H., Phan, T. T. T., & Suryawan, I. W. K. (2025). Resident action in smart waste management during landfill disclosure transition: Insights from Yogyakarta's smart city initiatives. *Cleaner Production Letters*, 100093.
- [28]Yue, H., Wei, Y., Yuan, H., & Li, H. (2025). Revitalizing urban industrial heritage: Enhancing public trust in government through smart city development and open big data analysis using artificial neural network (ANN) modeling. *Cities*, 156, 105538.
- [29]Wang, D., Liang, Y. F., & Dou, W. (2025). How does urban industrial structure upgrading affect green productivity? The moderating role of smart city development. *Structural Change and Economic Dynamics*, 72, 133-149.
- [30]Visvizi, A., & Godlewska-Majkowska, H. (2025). Not only technology: From smart city 1.0 through smart city 4.0 and beyond (an introduction).
- [31]Padhiary, M., Roy, P., & Roy, D. (2025). The future of urban connectivity: Ai and iot in smart cities. In *Sustainable Smart Cities and the Future of Urban Development* (pp. 33-66). IGI Global Scientific Publishing.
- [32]Wu, T., Xu, W., & Kung, C. C. (2025). The impact of data elements on urban sustainable development: Evidence from the big data policy in China. *Technology in Society*, 81, 102800.
- [33]Wu, T., Xu, W., & Kung, C. C. (2025). The impact of data elements on urban sustainable development: Evidence from the big data policy in China. *Technology in Society*, 81, 102800.
- [34]Correia, D., Lourenço Marques, J., & Teixeira, L. (2025). A framework to guide and support the design of a smart city based on the PDCA cycle approach. *Journal of Systems and Information Technology*, 27(1), 65-93.
- [35]Satpathy, I., Nayak, A., & Jain, V. (2025). The green city: Sustainable and smart urban living through artificial intelligence. In *Utilizing Technology to Manage Territories* (pp. 273-304). IGI Global.
- [36]Abu-Rayash, A., & Dincer, I. (2025). Development of an integrated model for environmentally and economically sustainable and smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 73, 104096.
- [37]Satpathy, I., Nayak, A., & Jain, V. (2025). The green city: Sustainable and smart urban living through artificial intelligence. In *Utilizing Technology to Manage Territories* (pp. 273-304). IGI Global.
- [38]Satpathy, I., Nayak, A., & Jain, V. (2025). The green city: Sustainable and smart urban living through artificial intelligence. In *Utilizing Technology to Manage Territories* (pp. 273-304). IGI Global.
- [39]Abu-Rayash, A., & Dincer, I. (2025). Development of an integrated model for environmentally and economically sustainable and smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 73, 104096.
- [40]Abujder Ochoa, W. A., Iarozinski Neto, A., Vitorio Junior, P. C., Calabokis, O. P., & Ballesteros-Ballesteros, V. (2025). The Theory of complexity and sustainable urban development: A systematic literature review. *Sustainability*, 17(1), 3.
- [41]Yuan, J., Wang, Z., Xing, S., & Kim, C. (2025). Evaluation Study on the Smart and Interactive Landscape Design of Haiyuntai Waterfront Park from the Perspective of a Sustainable City. *Land*, 14(2), 357.