

Applications of Internet of Things technology in environmental sciences: a mixed study in the Scopus database

Aplicaciones de la tecnología Internet of Things en las ciencias ambientales: un estudio mixto en la base de datos Scopus

Verenice Sánchez-Castillo^{1*}

¹* Ph.D. Antropología, ve.sanchez@udla.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-3669-3123>, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia.

Cómo citar: V. Sánchez-Castillo, “Aplicaciones de la tecnología Internet of Things en las ciencias ambientales: un estudio mixto en la base de datos Scopus”, *Respuestas*, vol. 30, n.º 1, pp. 51-66, Ene. 2025. <https://doi.org/10.22463/0122820X.4689>

Received on September 19, 2024 - Approved on December 18, 2024 - Published on January 1, 2025.

ABSTRACT

Keywords:

Internet of Things,
environmental sciences,
environmental technology,
resource management,
environmental monitoring

This research aims to analyze the applications of Internet of Things (IoT) technology, particularly in the field of environmental sciences. To achieve this, a mixed research approach was employed to analyze publications in Scopus from 2019 to 2024. A combination of bibliometric and thematic analysis was used to meet the research objectives. Among the results, it is highlighted that IoT technology facilitates real-time environmental monitoring by enabling the collection and analysis of data for effective resource management and rapid responses to environmental emergencies. Additionally, the main challenge identified is data security for the implementation of this technology. However, the potential of this technology is noteworthy in urban transformation and management. This study lays the groundwork for the development of safer technological solutions through the use of this technology in environmental sciences. The theoretical relevance for entities responsible for maximizing the impact of IoT on the environment is particularly emphasized.

RESUMEN

Palabras clave:

Internet of Things,
ciencias ambientales,
tecnologías ambientales,
manejo de recursos,
monitoreo ambiental

Esta investigación se propone analizar las aplicaciones de la tecnología de Internet of Things, particularmente en las ciencias ambientales. Para ello, se empleó un enfoque mixto de investigación destinado a analizar las publicaciones en Scopus de 2019 a 2024. Fue usada una combinación de enfoque bibliométrico y análisis temático para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación. Entre los resultados se destacan que la tecnología IoT facilita el monitoreo ambiental en tiempo real en tanto permite la recopilación y análisis de datos para una gestión eficaz de recursos y rápidas respuestas ante emergencias ambientales. Asimismo, el principal desafío identificado es la seguridad de los datos para la implementación de esta tecnología. Sin embargo, el potencial de esta tecnología es destacable en la transformación y gestión urbana. Este estudio sienta las bases para el desarrollo de soluciones tecnológicas más seguras mediante el empleo de esta tecnología en las ciencias ambientales. Se destaca principalmente la relevancia teórica para las entidades encargadas de maximizar el impacto del IoT en el medio ambiente.

*Corresponding author.

E-mail Address: ve.sanchez@udla.edu.co (Verenice Sánchez-Castillo)

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.
This is an article under the license CC BY-NC 4.0



Introducción

Las ciencias ambientales se han visto en la necesidad reciente de transformar sus metodologías para adaptarse al contexto internacional actual, mediatizado por el uso de nuevas tecnologías. En este contexto, el Internet of Things (IoT) ofrece la oportunidad de la monitorización y gestión del medio ambiente de forma automática [1, 2]. Aunque los estudios han demostrado que la capacidad de esta tecnología para la recopilación y análisis de datos en tiempo real tiene grandes aplicaciones en las ciencias ambientales, su introducción efectiva en las diferentes disciplinas y sectores de las ciencias ambientales ha sido insuficiente, lo que demanda un abordaje más avanzado [3, 4].

Si se toma en consideración el éxito de la integración de la tecnología IoT en las ciencias de la salud y otros sectores centrados en el monitoreo remoto de datos, al igual que su creciente visibilidad en la literatura científica, se puede asumir como factible la necesidad de explorar sus potencialidades para contribuir a la solución de problemas medioambientales en múltiples dimensiones [5]. Entre las posibles áreas que a priori destacan, se pueden mencionar el monitoreo de la calidad del aire, la detección de contaminantes activos en cuerpos de agua, el seguimiento a los efectos del cambio climático y de la variabilidad climática, así como la evaluación de la biodiversidad en grandes y pequeños territorios [6, 7].

Sin embargo, estas prestaciones, de ser integradas en marcos conceptuales más críticos y sensibles a los problemas sociales, podrían contribuir también al empoderamiento y a la participación comunitaria, al desarrollo de actividades de preservación y cuidado medioambiental, además de hacer más atractivos los sistemas de conocimiento ambiental para las nuevas generaciones. Dos de las características principales de la tecnología IoT, la información ambiental precisa y en tiempo real, podrían contribuir especialmente a la detección temprana de crisis medioambientales, al diseño e implementación de programas de intervención comunitaria y a la propia educación ambiental [8-10].

En atención a la necesidad de lograr una mejor comprensión con respecto a las tendencias de publicación e impacto, la estructura de conocimientos, las principales líneas de investigación y los principales temas en estudio, se diseñó un estudio encaminado a comprender la introducción de la tecnología IoT en las ciencias ambientales. Al respecto, se parte de la premisa de que esta presenta numerosas potencialidades para mejorar la gestión medioambiental y contribuir al desarrollo de proyectos encaminados a promover el desarrollo sostenible, tanto a nivel tecnológico como sociocomunitario y educativo [11]. En consecuencia, se identificaron los principales escenarios, tecnologías y aplicaciones, así como los principales desafíos de su integración al accionar de los profesionales de las ciencias ambientales.

Materiales y Métodos

La presente investigación empleó una metodología mixta secuencial que combinó dos enfoques, el análisis bibliométrico y el análisis temático. Ambos se concretaron en sendas etapas, diseñadas para complementarse entre sí de forma que permitiesen, por un lado, mapear la literatura en función de los indicadores bibliométricos escogidos, mientras que, por el otro, se identificaron y analizaron a profundidad los artículos más relevantes relacionados con el objetivo de la investigación [12, 13]. Esta racionalidad contribuyó a un examen más amplio de los avances tecnológicos, las áreas consolidadas y las emergentes, así como los principales temas abordados en el campo.

Etapa 1: análisis bibliométrico

En la primera etapa se condujo el análisis bibliométrico de la literatura indexada en la base de datos Scopus, con una estrategia de búsqueda limitada por la palabra clave "Internet of Things" y el filtro de área para las ciencias ambientales, siendo el periodo escogido 2019-2024. Como parte de la estrategia secuencial del diseño mixto, se identificaron los artículos más relevantes según la función ofrecida por la base, prestándose especial atención a aquellos que presentaran resultados empíricos, revisiones críticas o metaanálisis de la literatura.

En esta etapa se empleó el software VOSviewer con el fin de mapear el campo en las dimensiones "palabras clave" y "colaboración autoral". Además, se evaluaron las tendencias de publicación y citación, la dispersión geográfica y las principales fuentes dentro del campo.

Etapa 2: análisis temático

En la segunda etapa se analizaron a profundidad los 60 artículos más relevantes sobre la tecnología IoT según habían sido identificados en la etapa anterior. El análisis temático se llevó a cabo a partir de rondas de lectura para la codificación al interior de cada fuente, la elaboración de un libro general de códigos, la construcción de categorías principales y el relacionamiento de estas en temas centrales sobre el desarrollo e integración de tecnología IoT en el campo de las ciencias ambientales.

En la construcción de la matriz de análisis se consideraron las metodologías empleadas, los resultados clave, las prestaciones y escenarios de su implementación, así como los retos y limitaciones identificados por los autores. Una vez sintetizada la información, se conformó un reporte de los principales temas y su contribución a la mejor comprensión de la integración de la tecnología IoT. De forma similar, se extrajeron los principales vacíos y futuras líneas de investigación, resultado que se contrastó y robusteció mediante la integración de los datos obtenidos en la etapa anterior.

Resultados y Discusión

Desde el año 2019 hasta la actualidad en 2024, se observa un incremento progresivo en la cantidad de documentos publicados por año, con un inicio de 568 en 2019 hasta un total de 1025 durante el año 2024. Es a consideración de los autores, en función del análisis de frecuencia presentado y los análisis teóricos que lo subyacen que este aumento en la producción científica sugiere un creciente interés y relevancia de la temática del IoT en relación con las ciencias ambientales (ver *Figura 1*).

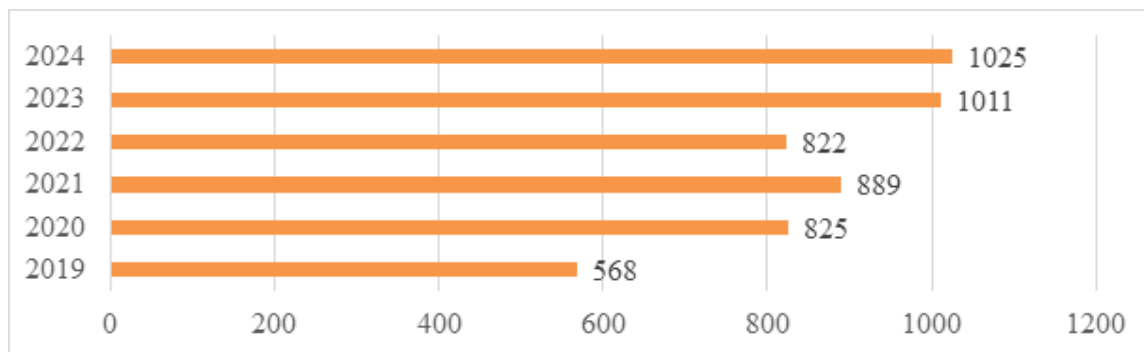


Figura 1. Documentos publicados por año

Paralelamente, el incremento exponencial en el número de citas recibidas por estos documentos a lo largo de los años confirma la aseveración sobre el impacto y relevancia que ha adquirido esta área de investigación en la comunidad científica (ver Figura 2). Iniciando con 344 citas en 2019 hasta alcanzar un pico máximo de 19871 en 2023, y con 18623 citas en lo que va del año 2024, se evidencia un sólido respaldo y difusión de los trabajos relacionados con el IoT y las ciencias ambientales.

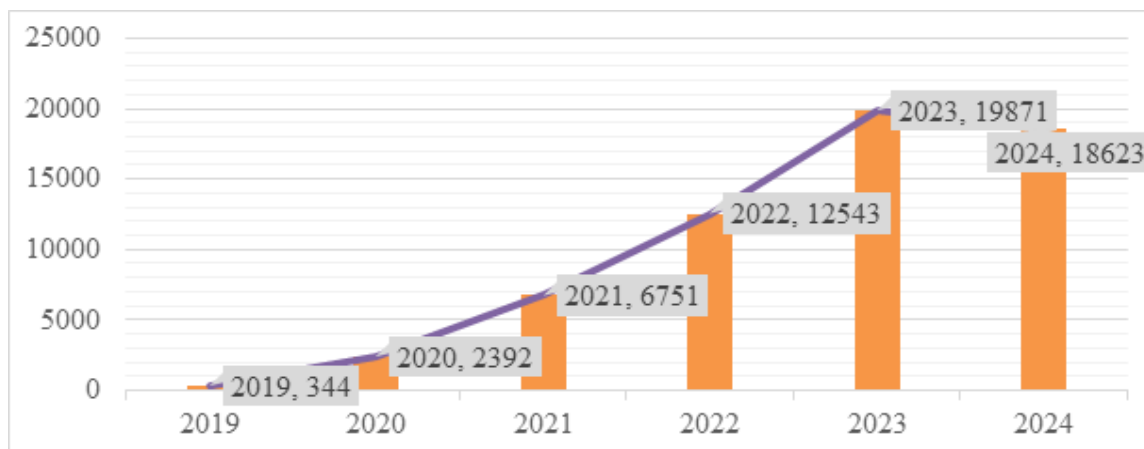


Figura 2. Citaciones a lo largo de los años

Además, al analizar las revistas más destacadas en este campo se identifican Sustainability, IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, E3s Web Of Conferences, Journal Of Cleaner Production e International Journal Of Engineering And Advanced Technology (ver Figura 3). Como puede apreciarse, predominan las revistas ubicadas en el primer cuartil, lo cual señala la relevancia y rigurosidad de los estudios publicados, así como ofrece fuentes fiables para investigadores interesados en este campo.

| REVISTAS | PUBLICACIONES | CUARTIL |
|--|---------------|---------|
| | S | (Q) |
| <i>Sustainability Switzerland</i> | 629 | Q1 |
| <i>IOP Conference Series: Earth And Environmental Science</i> | 409 | - |
| <i>E3s Web Of Conferences</i> | 301 | - |
| <i>Journal Of Cleaner Production</i> | 123 | Q1 |
| <i>International Journal Of Engineering And Advanced Technology</i> | 122 | - |
| <i>International Journal Of Environmental Research And Public Health</i> | 87 | Q2 |
| <i>Advanced Sciences And Technologies For Security Applications</i> | 77 | Q4 |
| <i>Applied Energy</i> | 66 | Q1 |
| <i>Advances In Science Technology And Innovation</i> | 66 | Q3 |
| <i>Chemical Engineering Journal</i> | 63 | Q1 |
| <i>Water (Switzerland)</i> | 54 | Q1 |
| <i>IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC</i> | 54 | - |

Figura 3. Conteo de publicaciones por revistas

En cuanto a los principales países más productivos y sus nexos, se observó entre los más destacados a China, India, Grecia, Irlanda y el Reino Unido. Puntualmente, la presencia de China e India señala el creciente interés por la tecnología IoT en contextos que enfrentan desafíos medioambientales considerables. Un resultado significativo es la ausencia de los Estados Unidos, siendo uno de los más productores en campos afines según los reportes del ScimagoJCR. Finalmente, esta unidad permitió comprobar el interés por la colaboración internacional y la integración de saberes en la solución de problemas medioambientales, cuestión crítica en el caso de la tecnología IoT por sus elevados costos de producción y comercialización.

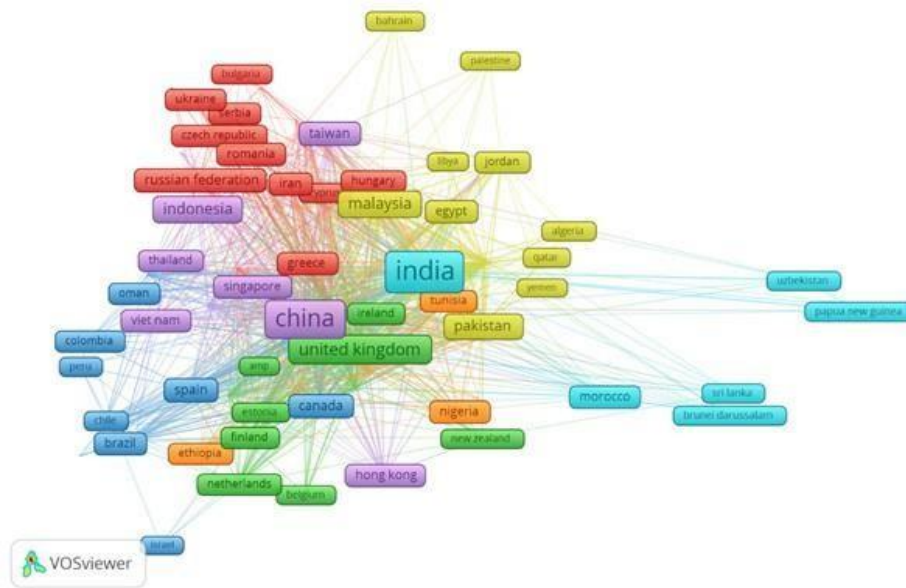


Figura 4. Países más destacados en la investigación

En cuanto al análisis de la co-ocurrencia de palabras clave, se observó la conformación de cinco clústeres principales, donde el nodo central fue Internet of Things, estrechamente vinculado a la eficiencia energética, el monitoreo, los sistemas tecnológicos embebidos y otros términos relacionados con la energía (ver Figura 5). En el clúster relacionado con la sostenibilidad, las principales temáticas orbitaron alrededor de la producción y la comercialización, destacando la Industria 4.0, el análisis de datos y las tecnologías digitales. Como se mencionó en la introducción, otra importante línea identificada tuvo su centro en las aplicaciones en el campo de la salud y el entrenamiento deportivo, donde también se observó un nodo sobre el SARS-CoV-2. Finalmente, dos clústeres agruparon las categorías propias de la aplicación de la Internet of Things en las ciencias ambientales (violeta y azul), donde aparecieron componentes, variables de medición y procesos de su integración.

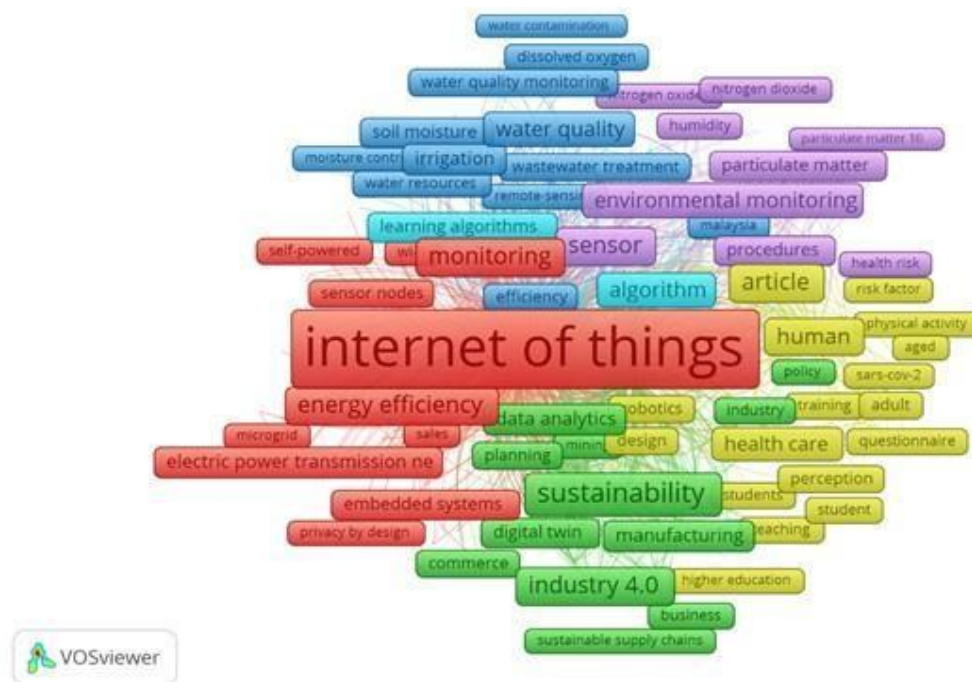


Figura 5. Co-ocurrencia de palabras claves

La integración de los datos, tanto dentro de la primera etapa como en su vinculación con el análisis cualitativo, permitió identificar como características fundamentales del campo el crecimiento exponencial a partir de 2019, el aumento del impacto de las publicaciones, la calidad y prestigio de las fuentes, así como la inclinación progresiva a la colaboración geográfica y disciplinar (ver Figura 6). De manera general, el tránsito hacia la segunda etapa se produjo bajo el precepto de que la tecnología IoT puede ocupar un papel central en el desarrollo de los estudios ambientales presentes y futuros [14, 15]. En atención al análisis realizado y el postulado final, se sintetizaron las siguientes tendencias: creación de soluciones soportadas en datos, gestión medioambiental y conservación de recursos naturales sustentadas en IoT, generación de plataformas colaborativas para la solución de problemas medioambientales y necesidad de mejorar la cadena producción-comercialización-aplicación [9, 14].

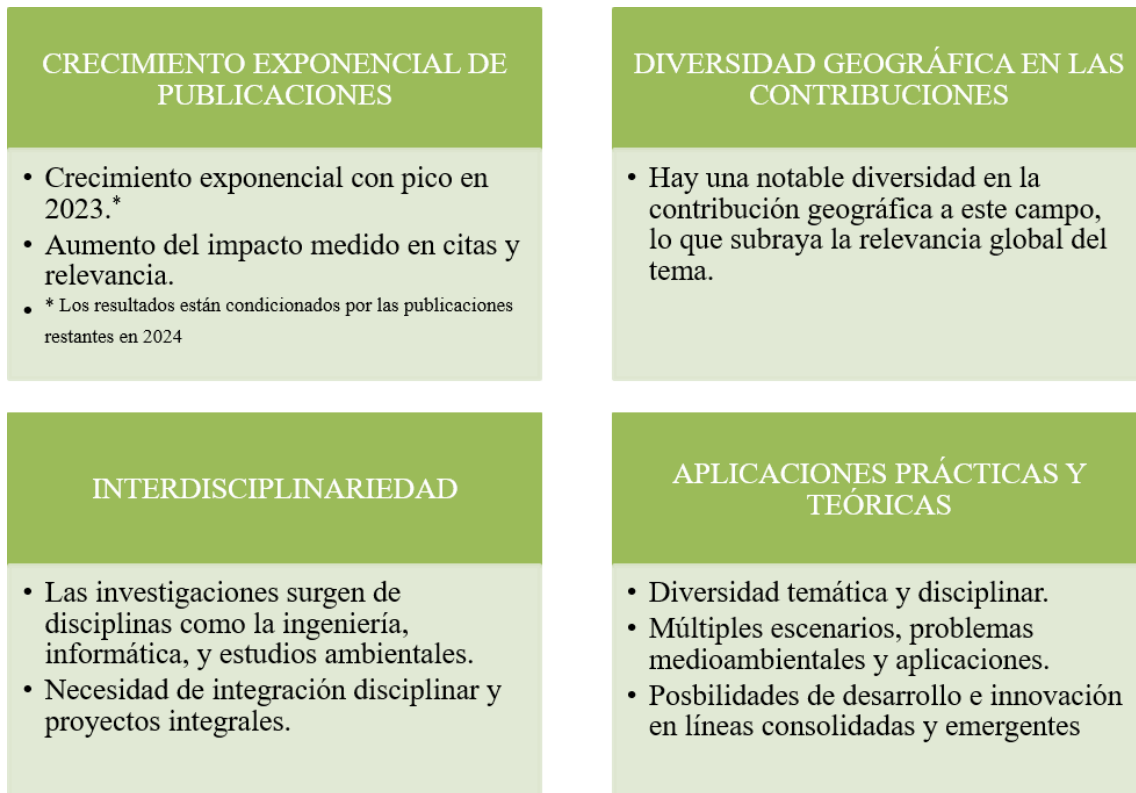


Figura 6. Tendencias claves que surgen a partir del análisis bibliométrico

Monitoreo ambiental mejorado

El primer tema engloba las categorías relacionadas con el monitoreo ambiental, el cual se sustentó en el desarrollo de sistemas avanzados que permiten la recopilación de datos, ofreciendo no solo métricas en tiempo real, sino la posibilidad de construir bases de datos y registros fiables sobre el comportamiento de múltiples indicadores. Entre los beneficios reportados se encontraron la relación costo-efectividad, el aporte al desarrollo de regiones con dificultades históricas para el manejo de recursos y el control más eficiente de los mecanismos de diagnóstico en contextos que previamente dependerían de labores humanas costosas [16, 17].

Los artículos más relevantes que aportaron datos a este tema coincidieron en que la integración de los sensores y los dispositivos remotos ofrece no solo datos de mayor calidad, sino un mayor rango de alcance, lo que se traduce en un monitoreo más preciso sobre patrones, anomalías y localización [18]. Los hallazgos consultados indican que estas prestaciones se traducen en mayor precisión a lo largo del tiempo, un mejor análisis y gestión de riesgos basados en la detección temprana, factor crucial especialmente en crisis medioambientales [19, 20]. Por último, se enfatiza que estas bases de datos contribuyen a la toma de decisiones informadas en contextos rurales, urbanos y costeros [21, 22].

Gestión de recursos naturales

Otro tema central emergido del análisis de contenido fue la implementación de soluciones basadas en IoT, lo cual había sido identificado durante la primera etapa igualmente. De acuerdo con las fuentes estudiadas, estas soluciones suelen sostenerse en la capacidad de la tecnología IoT para ofrecer datos en tiempo real, lo que resulta crucial en procesos de toma de decisiones [23, 24]. En el caso concreto de la agricultura inteligente, los sistemas basados en IoT contribuyen al diagnóstico de los niveles de humedad del suelo; el monitoreo de las condiciones climáticas, especialmente en el contexto de los efectos de la variabilidad climática; la gestión de los recursos hídricos; así como el ajuste de indicadores ambientales o sustancias suministradas a los cultivos, lo cual, en conjunto con el seguimiento remoto del crecimiento, representa un importante avance en comparación con métodos tradicionales [25].

Por otro lado, los estudios sobre energía sugieren que la tecnología IoT ofrece un importante soporte a las redes inteligentes, así como mejorar la eficiencia productiva, la distribución y el consumo energético [26, 27]. Estos estudios también coinciden con la línea temática anterior al afirmar que, mediante la integración de sensores en infraestructuras energéticas, es posible monitorear en tiempo real el consumo de energía, identificar patrones de uso y optimizar la operación de sistemas para la reducción de emisiones de carbono y la conservación de recursos energéticos [28]. La principal conclusión que se puede extraer de esta línea temática es que la gestión inteligente de recursos naturales a través de la IoT no solo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también conlleva beneficios económicos al reducir costos operativos y aumentar la eficiencia en el uso de recursos escasos.

Sostenibilidad en ciudades inteligentes

Un tema emergente y de creciente importancia fue la relación entre la tecnología IoT y las ciudades inteligentes, donde el núcleo central de los debates y experiencias se refiere a las contribuciones al desarrollo sostenible, principalmente mediante la regulación de las emisiones de CO₂, la optimización de recursos y la toma de decisiones con carácter transversal [29, 30]. Entre las aplicaciones identificadas en los estudios, cabe destacar el uso de sensores para monitorear el consumo de energía, el desarrollo de políticas y la intervención de contextos que presentan elevados niveles de contaminación, lo que se refleja en prácticas sostenibles y la posibilidad de explorar fuentes no contaminantes de energía [31].

Además, en el ámbito del transporte se destaca que los sistemas de gestión del tráfico basados en IoT contribuyen a reducir la congestión, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de combustible al optimizar las rutas y horarios del transporte público y privado [32]. La implementación de soluciones de movilidad inteligente, como el uso compartido de vehículos eléctricos y la planificación urbana centrada en peatones y ciclistas, fomenta un transporte más sostenible y reduce la dependencia de los vehículos tradicionales impulsados por combustibles fósiles [33, 34].

Es a consideración de la autora que la sostenibilidad en ciudades inteligentes impulsada por la IoT busca minimizar el impacto ambiental de las actividades urbanas. Adicionalmente, también tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos al promover espacios más verdes, saludables y eficientes

desde el punto de vista energético; estos resultados se traducen en la construcción de entornos urbanos más resilientes y sostenibles a largo plazo.

Respuesta a emergencias ambientales

Específicamente en las ciencias ambientales, el empleo de tecnologías IoT ha demostrado significativamente mejorar la capacidad de respuesta ante desastres naturales y emergencias ambientales mediante sistemas que pueden predecir y mitigar los efectos de eventos como inundaciones y huracanes. Esto es posible mediante la integración de sensores IoT en áreas propensas a desastres naturales, lo que, según la evidencia disponible, favorece una monitorización continua de variables clave como niveles de agua, movimientos del suelo y cambios climáticos bruscos [35, 36].

Asimismo, estos datos en tiempo real alimentan modelos predictivos y sistemas de alerta temprana que pueden identificar patrones y tendencias indicativas de posibles desastres. El principal aporte de la obtención de estos datos es permitir a las autoridades y a las comunidades tomar medidas preventivas y evacuaciones de manera oportuna y efectiva [37, 38].

Además, otro elemento que no puede dejar de mencionarse es la capacidad del IoT para la coordinación de equipos de respuesta en situaciones de emergencia y brindar información detallada sobre la ubicación de recursos y personas [39, 40]. Los drones equipados con sensores IoT, por ejemplo, pueden ser desplegados para evaluar áreas afectadas, identificar personas en peligro y mapear daños de manera rápida y precisa para alcanzar una respuesta más eficiente y coordinada en entornos de crisis [41].

Participación y conciencia comunitaria

Como se aborda anteriormente, existe un consenso significativo en la literatura actual sobre el efecto del IoT en el fomento de una mayor participación comunitaria en la gestión ambiental. Este efecto en la comunidad se ha logrado mediante plataformas que permiten a los ciudadanos monitorizar y reportar problemas ambientales [42, 43].

De igual forma, se ha observado que la integración de estas tecnologías en iniciativas de participación comunitaria tiene un efecto directo en el desarrollo de motivación ciudadana en la protección y conservación del medio ambiente. Las dos aplicaciones fundamentales encontradas fueron el empleo de aplicaciones móviles y las plataformas en línea, en ambos casos conectadas a los dispositivos IoT, pero con distintos regímenes de acceso. Al respecto de su efectividad, los estudios demuestran que la puesta en marcha de estos sistemas permite a los residentes brindar información de manera ágil e intuitiva sobre comportamientos ilegales, vertidos de sustancias, crisis medioambientales en sus fases iniciales y otros riesgos ambientales, lo cual facilita la detección y ejecución de soluciones a nivel local, eliminando la dependencia de instancias superiores o regionales [44, 45].

Por último, se enfatiza en las potencialidades educativas que presenta la introducción de la tecnología IoT a las ciencias ambientales. Además del atractivo tecnológico e innovador, los datos provistos por los dispositivos IoT constituyen una fuente actualizada e invaluable de conocimiento científico, no solo

como expresión aplicada (dimensión tecnológica), sino por su utilidad para enseñar sobre cuestiones ambientales y ejemplificar de manera concreta los contenidos. Además, el también mencionado factor de empoderamiento comunitario apareció en este tema como una avenida de desarrollo futuro, en tanto permite soportar movimientos sociales proambientalistas con datos sobre las problemáticas, pero también sobre las soluciones implementadas [42, 45].

De cara al futuro, el desarrollo de proyectos sobre ciencia, tecnología y sociedad podría contribuir de manera significativa a la integración de esfuerzos entre sociedad civil, gobernanza, organizaciones no gubernamentales e industria. Este enfoque en hélice de la gestión medioambiental podría propiciar el diseño de estrategias más sensibles a las necesidades de los implicados, dirigidas a elevar la calidad ambiental de los procesos productivos y el bienestar de los habitantes de las comunidades [46, 47, 48].

Discusión

Primeramente, es necesario enfatizar que, a pesar de que el análisis se enfocó en los beneficios y aplicaciones concretas, la integración de la tecnología IoT también está determinada por un sistema de barreras y desafíos que la limitan, siendo las dos cuestiones más destacadas la seguridad-privacidad de los datos y el costo de introducción en contextos de bajos ingresos [49, 50]. Por un lado, la recopilación, procesamiento y transmisión de los grandes volúmenes de datos que generan los dispositivos IoT implican la necesidad de sistemas de protección robustos, así como una avanzada infraestructura, cuya ausencia puede terminar en brechas y manipulaciones de datos.

Adicionalmente, los estudios que se enfocaron en las limitaciones señalaron que el uso múltiple de dispositivos IoT genera bases de datos superpuestas, lo que dificulta gravemente la interpretación y el empleo de los datos [51-53]. Por tanto, el empleo de la tecnología IoT también depende de sistemas de control y estándares específicos de funcionamiento, lo cual encarece su introducción, no solo por la necesaria infraestructura tecnológica auxiliar, sino por los procesos de capacitación necesarios para implementar y mantener estos sistemas. Incluso cuando su contribución a la detección y atenuación de problemas ambientales es innegable [54, 55], así como presenta potencialidades para la optimización de la gestión de recursos con enfoque de desarrollo sostenible [56-58], estas limitaciones han de ser consideradas de forma previa a la introducción.

Puntualmente, en el contexto latinoamericano estas barreras podrían verse maximizadas debido a las condiciones económicas, sociales y tecnológicas de la región. No obstante, proyectos pilotos en contextos rurales y urbanos certifican las posibilidades que abre la implementación de la tecnología IoT, especialmente en el monitoreo de indicadores ambientales y en la sustentación de políticas públicas [59, 60]. En vista de futuros desarrollos, es necesaria la ejecución de estudios de factibilidad para explorar los desafíos técnicos y financieros, así como la integración de las múltiples agencias interesadas en ofrecer soluciones más eficientes a los problemas medioambientales [61].

Conclusiones

El estudio permitió concluir que la integración de las tecnologías fundamentadas en IoT al campo de estudio de las ciencias ambientales constituye una alternativa eficaz para la mejora del seguimiento ambiental y puede representar una importante línea futura de investigación. En este contexto, uno de los aportes más significativos de este estudio reside en el examen crítico de las contribuciones de esta tecnología en la recolección de datos en tiempo real, en particular su habilidad para identificar con mayor exactitud los cambios ambientales y posibles problemas relacionados. Se concluye que ventajas se evidencian en el incremento de la habilidad de las entidades involucradas para proporcionar respuestas rápidas en situaciones de emergencia. Además, se observó que también potencia las medidas destinadas a la preservación de los recursos naturales. Sin embargo, también debe destacarse que la implementación de IoT enfrenta desafíos importantes en términos de seguridad de datos y la integración de sistemas heterogéneos, por lo que es importante que los investigadores consideren abordar estas cuestiones al emplear tecnologías basadas en IoT para la gestión medioambiental.

Referencias

- [1] A. M. Chaves-Cano, V. Sánchez-Castillo, A. J. Pérez-Gamboa, W. Castillo-Gonzalez, A. Vitón-Castillo, and J. Gonzalez-Argote, "Internet of Things and Health: A literature review based on Mixed Method," *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, vol. 10, 2024, doi: 10.4108/eetiot.4909.
- [2] C. Gómez-Cano, V. Sánchez-Castillo, W. Castillo-Gonzalez, A. Vitón-Castillo, and J. González-Argote, "Internet of Things and Wearable Devices: A Mixed Literature Review," *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, vol. 9, no. 4, p. e3, 2023, doi: 10.4108/eetiot.v9i4.4276.
- [3] V. Sánchez-Castillo, C. A. Gómez-Cano, and A. J. Pérez-Gamboa, "La Economía Azul en el contexto de los objetivos del desarrollo sostenible: una revisión mixta e integrada de la literatura en la base de datos Scopus," *AiBi Revista De Investigación, Administración E Ingeniería*, vol. 12, no. 2, pp. 206-221, 2024, doi: 10.15649/2346030X.4028.
- [4] H. Yosra, W. Boulila, I. Farah, I. Romdhani, and A. Hussain, "Big data and IoT-based applications in smart environments: A systematic review," *Computer Science Review*, vol. 39, p. 100318, 2021-02-01 2021, doi: 10.1016/j.cosrev.2020.100318.
- [5] R. González Vallejo, "La transversalidad del medioambiente: facetas y conceptos teóricos," *Región Científica*, vol. 2, no. 2, p. 202393, 2023, doi: 10.58763/rc202393.
- [6] C. R. Franco, D. Page-Dumroese, and G. A. James, "Forest management and biochar for continued ecosystem services," *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 77, pp. 60-64, 2022, doi: 10.2489/jswc.2022.0603A.
- [7] M. Jung et al., "Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water," *Nature Ecology & Evolution*, vol. 5, pp. 1499-1509, 2021-08-23 2021, doi: 10.1038/s41559-021-01528-7.

- [8] Z. Xiangdong, M. Gunasekaran, and M. BalaAnand, "IoT enabled integrated system for green energy into smart cities," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 46, p. 101208, 2021-08-01 2021, doi: 10.1016/J.SETA.2021.101208.
- [9] S. Nižetić, P. Šolić, G.-d.-A. Diego López-de-Ipiña, and L. Patrono, "Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, pp. 122877-122877, 2020-07-19 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122877.
- [10] P. Kellow, J. Rodrigues, O. Diallo, A. Das, V. Albuquerque, and A. K. Sergei, "A Smart Waste Management Solution Geared towards Citizens," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, 2020-04-01 2020, doi: 10.3390/s20082380.
- [11] D. A. Gaspare, S.-D. Katarzyna, R. Beltramo, D. A. Idiano, and G. Ioppolo, "Smart and Sustainable Bioeconomy Platform: A New Approach towards Sustainability," *Sustainability*, vol. 14, no. 1, p. 46, 2022-01-02 2022, doi: 10.3390/su14010466.
- [12] F. Ledesma and B. E. Malave-González, "Patrones de comunicación científica sobre E-commerce: un estudio bibliométrico en la base de datos Scopus," *Región Científica*, vol. 1, no. 1, p. 202214, 2022, doi: 10.58763/rc202214.
- [13] V. Sánchez Castillo, A. J. Pérez Gamboa, and C. A. Gómez Cano, "Trends and evolution of Scientometric and Bibliometric research in the SCOPUS database," *Bibliotecas. Anales de investigación*, vol. 20, no. 1, 2024. [Online]. Available: <http://revistas.bnjm.sld.cu/index.php/BAI/article/view/834>.
- [14] S. Ullo and G. Sinha, "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, 2020-05-31 2020, doi: 10.3390/s20113113.
- [15] P. Sharma, K. Neeraj, and J. Park, "Blockchain Technology Toward Green IoT: Opportunities and Challenges," *IEEE Network*, vol. 34, pp. 263-269, 2020-03-03 2020, doi: 10.1109/MNET.001.1900526.
- [16] V. Vázquez-Vidal and G. Martínez-Prats, "El desarrollo regional y su impacto en la sociedad mexicana," *Región Científica*, vol. 2, no. 1, p. 202336, 2023, doi: 10.58763/rc202336.
- [17] S. Pasika and G. Sai Teja, "Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT," *Heliyon*, vol. 6, 2020-07-01 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04096.
- [18] R. J. Cureau, I. Pigliatile, and A. Pisello, "A New Wearable System for Sensing Outdoor Environmental Conditions for Monitoring Hyper-Microclimate," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, 2022-01-01 2022, doi: 10.3390/s22020502.
- [19] Z. Xiaheng, S. Kunliang, S. Rajkumar, and V. Sivakumar, "Research on deep integration of application of artificial intelligence in environmental monitoring system and real economy," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 86, p. 106499, 2021, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106499.
- [20] G. Coulby, A. Clear, O. Jones, and A. Godfrey, "Low-cost, multimodal environmental monitoring

- based on the Internet of Things," *Building and Environment*, vol. 203, p. 108014, 2021-05-31 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108014.
- [21] B. S. Vargas Ávila, D. N. Villa Celis, C. D. Ortiz Vargas, K. N. Becerra Menjura, L. A. Verdugo Gómez, and J. N. Ramírez Chacón, "Radio educación financiera en zonas rurales de Colombia," *Región Científica*, vol. 3, no. 1, p. 2024207, 2024, doi: 10.58763/rc2024207.
- [22] Y. Chao-Tung, C. Shuo-Tsung, W. Den, W. Yun-Ting, and K. Endah, "Implementation of an Intelligent Indoor Environmental Monitoring and management system in cloud," *Future Generation Computer Systems*, vol. 96, pp. 731-749, 2019-07-01 2019, doi: 10.1016/J.FUTURE.2018.02.041.
- [23] K. Jani and C. Nirbhay, "A Novel Model for Optimization of Resource Utilization in Smart Agriculture System Using IoT (SMAIoT)," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, pp. 11275-11282, 2022-07-01 2022, doi: 10.1109/jiot.2021.3128161.
- [24] S. I. Shereen, W. D. Diana, I. Nadhem, M. Ronald, and A. Alshami, "IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 35942-35952, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3163742.
- [25] M. Farooq, R. Shamyala, A. Abid, K. Abid, and M. A. Naeem, "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156237-156271, 2019-10-25 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949703.
- [26] M. J. Sanabria Martínez, "Construir nuevos espacios sostenibles respetando la diversidad cultural desde el nivel local," *Región Científica*, vol. 1, no. 1, p. 20222, 2022, doi: 10.58763/rc20222.
- [27] A. Tanveer and Z. Dongdong, "Using the internet of things in smart energy systems and networks," *Sustainable Cities and Society*, vol. 68, p. 102783, 2021-05-01 2021, doi: 10.1016/J.SCS.2021.102783.
- [28] B. A. Danielly, J. Rodrigues, R. Rabêlo, A. Das, K. Sergey, and P. Šolić, "A new IoT-based smart energy meter for smart grids," *International Journal of Energy Research*, vol. 45, pp. 189-202, 2020-02-03 2020, doi: 10.1002/er.5177.
- [29] R. Goel, C. S. Yadav, and S. Vishnoi, "Self-sustainable smart cities: Socio-spatial society using participative bottom-up and cognitive top-down approach," *Cities*, p. 103370, 2021-07-30 2021, doi: 10.1016/J.CITIES.2021.103370.
- [30] A. A. Faris et al., "Green IoT for Eco-Friendly and Sustainable Smart Cities: Future Directions and Opportunities," *Mobile Networks and Applications*, vol. 28, pp. 178-202, 2021-08-17 2021, doi: 10.1007/s11036-021-01790-w.
- [31] M. I. Kammerer-David and B. Murgas-Téllez, "La innovación tecnológica desde un enfoque de dinámica de sistemas," *Región Científica*, vol. 3, no. 1, p. 2024217, 2024, doi: 10.58763/rc2024217.
- [32] G. F. Siham, F. Outay, A. Yasar, D. Janssens, K. Bruno, and N. Jabeur, "Toward the improvement

- of traffic incident management systems using Car2X technologies," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 25, pp. 163-176, 2020-01-27 2020, doi: 10.1007/s00779-020-01368-5.
- [33] U. Lilhore et al., "Design and Implementation of an ML and IoT Based Adaptive Traffic- Management System for Smart Cities," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, 2022-04-01 2022, doi: 10.3390/s22082908.
- [34] Z. Siyue, Z. Zhenghan, L. Rui, Z. Runze, X. Yiyong, and X. Yuchun, "A low-carbon, fixed-tour scheduling problem with time windows in a time-dependent traffic environment," *International Journal of Production Research*, vol. 61, pp. 6177-6196, 2022-12-15 2022, doi: 10.1080/00207543.2022.2153940.
- [35] N. Pérez-Guedes and A. Arufe-Padrón, "Perspectivas de transición energética en América Latina en el escenario pospandémico," *Región Científica*, vol. 2, no. 1, p. 202334, 2023, doi: 10.58763/rc202334.
- [36] R. Bail, J. Kovaleski, S. Vander Luiz da, R. Pagani, and D. Chirolí, "Internet of things in disaster management: technologies and uses," *Environmental Hazards*, vol. 20, pp. 493-513, 2021-01-06 2021, doi: 10.1080/17477891.2020.1867493.
- [37] S. Syed Attique, D. Seker, S. Hameed, and D. Draheim, "The Rising Role of Big Data Analytics and IoT in Disaster Management: Recent Advances, Taxonomy and Prospects," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 54595-54614, 2019-04-25 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913340.
- [38] A. Pillai, S. C. Gaddam, A. Khwaja, and A. Anpalagan, "A service oriented IoT architecture for disaster preparedness and forecasting system," *Internet Things*, vol. 14, p. 100076, 2019-06-28 2019, doi: 10.1016/J.IOT.2019.100076.
- [39] J. M. Mogrovejo Andrade, "Estrategias resilientes y mecanismos de las organizaciones para mitigar los efectos ocasionados por la pandemia a nivel internacional," *Región Científica*, vol. 1, no. 1, p. 202211, 2022, doi: 10.58763/rc202211.
- [40] K. Anastasia, G.-C. Carlos, L. Mark, A. Bennaceur, and B. Nuseibeh, "'Are we in this together?': embedding social identity detection in drones improves emergency coordination," *Frontiers in Psychology*, vol. 14, 2023-09-07 2023, doi: 10.3389/fpsyg.2023.1146056.
- [41] F. Wanmei et al., "UAV-Enabled SWIPT in IoT Networks for Emergency Communications," *IEEE Wireless Communications*, vol. 27, pp. 140-147, 2020-07-08 2020, doi: 10.1109/MWC.001.1900656.
- [42] A. d. J. Moreira and R. M. Reis Fonseca, "La inserción de los movimientos sociales en la protección del medio ambiente: cuerpos y aprendizajes en el Recôncavo da Bahia," *Región Científica*, vol. 3, no. 1, p. 2024208, 2024, doi: 10.58763/rc2024208.
- [43] U. Wehn and A. Almomani, "Incentives and barriers for participation in community-based environmental monitoring and information systems: A critical analysis and integration of the literature," *Environmental Science & Policy*, vol. 101, pp. 341-357, 2019-11-01 2019, doi: 10.1016/j.envsci.2019.09.002.
- [44] D. Stacey Mac and H. Staats, "Conservation as Integration: Desire to Belong as Motivation for Environmental Conservation," *Society & Natural Resources*, vol. 35, pp. 75-91, 2022-01-02 2022, doi: 10.1080/08941920.2021.2023244.
- [45] N. Hahn, S. Bombaci, and G. Wittemyer, "Identifying conservation technology needs, barriers, and opportunities," *Scientific Reports*, vol. 12, 2021-06-03 2021, doi: 10.1038/s41598-

- 022-08330-w.
- [46] T. Bernardo, G.-A. Vicente, C. Carlos Gilarranz, and B.-A. Samuel, "Fostering Environmental Awareness with Smart IoT Planters in Campuses," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, 2020-04-01 2020, doi: 10.3390/s20082227.
- [47] M. Georgios, F. Paganelli, G. Cuffaro, N. Ilaria, and K. Dionysis, "Using gamification and IoT-based educational tools towards energy savings - some experiences from two schools in Italy and Greece," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-20, 2021-01-03 2021, doi: 10.1007/s12652-020-02838-7.
- [48] H. Z. W. Dana et al., "A Scoping Review of Capacity-Building Efforts to Address Environmental Justice Concerns," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, 2020-05-26 2020, doi: 10.3390/ijerph17113765.
- [49] L. Bin, A. Yasir, S. Nazir, H. Long, and K. Habib Ullah, "Security Analysis of IoT Devices by Using Mobile Computing: A Systematic Literature Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 120331-120350, 2020-07-01 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006358.
- [50] M. C. Poornima and M. Kakkasageri, "Security and Privacy in IoT: A Survey," *Wireless Personal Communications*, vol. 115, pp. 1667-1693, 2020-07-29 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07649-9.
- [51] M. Ogonji, G. Okeyo, and J. Muliaro, "A survey on privacy and security of Internet of Things," *Computer Science Review*, vol. 38, p. 100312, 2020-11-01 2020, doi: 10.1016/j.cosrev.2020.100312.
- [52] K. Hasan Ali, M. A. Shah, K. Sangeen, A. Ihsan, and M. Imran, "Perception layer security in Internet of Things," *Future Generation Computer Systems*, vol. 100, pp. 144-164, 2019-11-01 2019, doi: 10.1016/J.FUTURE.2019.04.038.
- [53] G. Pranav, A. Perez-Pons, B. Tushar, U. Himanshu, J. Santosh, and E. L. Leonel, "Securing Environmental IoT Data Using Masked Authentication Messaging Protocol in a DAG-Based Blockchain: IOTA Tangle," *Future Internet*, vol. 13, p. 312, 2021-12-06 2021, doi: 10.3390/fi13120312.
- [54] D. Shathya et al., "Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, 2022-07-01 2022, doi: 10.3390/s22145343.
- [55] F. Tércio et al., "A Standard-Based Internet of Things Platform and Data Flow Modeling for Smart Environmental Monitoring," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, 2021-06-01 2021, doi: 10.3390/s21124228.
- [56] A. A. Faris, S. Bendelhoum, S. Alsamhi, and H. Sakli, "A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on IoT and UAVs," *Sustainability*, vol. 13, p. 5908, 2021-05-24 2021, doi: 10.3390/SU13115908.
- [57] L. Yi, Y. Chao, J. Li, X. Shengli, and Z. Yan, "Intelligent Edge Computing for IoT-Based Energy Management in Smart Cities," *IEEE Network*, vol. 33, pp. 111-117, 2019-03-27 2019, doi: 10.1109/MNET.2019.1800254.
- [58] S. Ramiz and M. A.-T. Fadi, "Sustainable Energy Production in Smart Cities," *Sustainability*, vol. 15, no. 22, p. 16052, 2023-11-17 2023, doi: 10.3390/su152216052.
- [59] S. Joaquín, G. Patterson, and V. Flávio de

Barros, "A Systematic Mapping of Artificial Intelligence Solutions for Sustainability Challenges in Latin America and the Caribbean," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20, pp. 2312-2329, 2022-11-01 2022, doi: 10.1109/TLA.2022.9904756.

- [60] E. L. Higuera Carrillo, "Aspectos clave en agroproyectos con enfoque comercial: Una aproximación desde las concepciones epistemológicas sobre el problema rural agrario en Colombia," *Región Científica*, vol. 1, no. 1, p. 20224, 2022, doi: 10.58763/rc20224.
- [61] J. Rocha, N. Mazzeo, M. Piaggio, and M. Carriquiry, "Seeking sustainable pathways for land use in Latin America," *Ecology and Society*, vol. 25, 2020-08-31 2020, doi: 10.5751/es-11824-250317.