

Aplicaciones de internet de las cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética en entornos residenciales.
Internet of things (IoT) applications in energy efficiency optimization in residential environments.

Javier Vidal Romero Macías, Eddy Alejandro Loor Navia

INNOVACIÓN Y
CONVERGENCIA: IMPACTO
MULTIDISCIPLINAR
Enero - Junio, V°6 - N°1;
2025

- ✓ **Recibido:** 03 /01/2025
- ✓ **Aceptado:** 17/01/2025
- ✓ **Publicado:** 31/01/2025

PAIS

- Ecuador – Portoviejo
- Ecuador - Portoviejo

INSTITUCIÓN

- Universidad Técnica de Manabí
- Universidad Técnica de Manabí

CORREO:

Javividal2000@hotmail.com
alejandro.loor@utm.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0009-0006-9347-8004>
- <https://orcid.org/0000-0001-6670-835X>

FORMATO DE CITA APA.

Romero, J. Loor, E. (2025). Aplicaciones de internet de las cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética en entornos residenciales. Revista G-ner@ndo, V°6 (N°1.), 281 – 305.

Resumen

La eficiencia energética es un pilar fundamental para la sostenibilidad global, especialmente en entornos residenciales. Este artículo analiza las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética en hogares inteligentes, utilizando una revisión sistemática de la literatura basada en la metodología prisma. Los resultados destacan tecnologías IoT clave como sensores inteligentes, algoritmos predictivos y plataformas de gestión energética, que permiten una significativa reducción del consumo energético, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, persisten desafíos como la interoperabilidad entre dispositivos, los altos costos de implementación y las preocupaciones de seguridad y privacidad. Este estudio ofrece una visión integral del estado del arte, tendencias tecnológicas y barreras, proponiendo soluciones prácticas para maximizar el impacto positivo del IoT en la gestión energética residencial. Se concluye que la adopción de estas tecnologías puede transformar la sostenibilidad energética a nivel global, siempre que se superen las limitaciones actuales.

Palabras claves: Eficiencia energética, Internet de las Cosas (IoT), hogares inteligentes, gestión energética, sensores inteligentes, sostenibilidad.

Abstract

Energy efficiency is a fundamental pillar for global sustainability, especially in residential environments. This paper analyses the applications of the Internet of Things (IoT) in optimising energy efficiency in smart homes, using a systematic literature review based on the prism methodology. The results highlight key IoT technologies such as smart sensors, predictive algorithms and energy management platforms, which enable a significant reduction in energy consumption, contributing to environmental sustainability. However, challenges such as interoperability between devices, high implementation costs and security and privacy concerns persist. This study provides a comprehensive overview of the state of the art, technological trends and barriers, proposing practical solutions to maximise the positive impact of IoT on residential energy management. It is concluded that the adoption of these technologies can transform energy sustainability at a global level, provided that current limitations are overcome.

Keywords: Energy efficiency, Internet of Things (IoT), smart homes, energy management, smart sensors, sustainability.

Introducción

El Internet de las Cosas (IoT) se posiciona como una herramienta transformadora que permite la optimización del consumo energético mediante dispositivos interconectados capaces de recopilar, analizar y actuar sobre datos en tiempo real. Este enfoque no solo promete reducir costos operativos y mejorar la calidad de vida de los usuarios, sino también contribuir significativamente a la eficiencia energética promoviendo la sostenibilidad.

El IoT ha ganado protagonismo al ofrecer soluciones innovadoras que integran tecnologías como sensores inteligentes, termostatos automatizados y algoritmos predictivos, permitiendo un uso más eficiente de los recursos energéticos. Su implementación ha demostrado ser eficaz en la reducción de costos energéticos, convirtiéndose en una estrategia clave para enfrentar los retos globales en términos de sostenibilidad energética. Sin embargo, su adopción aún enfrenta diversos desafíos, desde la interoperabilidad entre dispositivos hasta barreras económicas y de infraestructura. Diversos estudios han demostrado que el Internet de las Cosas permite optimizar el consumo energético mediante dispositivos interconectados que recopilan, analizan y actúan sobre datos en tiempo real.

El presente estudio tiene como objetivo realizar un estudio bibliográfico de las aplicaciones del IoT en la optimización de la eficiencia energética en entornos residenciales, abordando tanto las tendencias tecnológicas actuales como los desafíos asociados a su implementación. Para garantizar un enfoque riguroso y transparente, se ha empleado la metodología prisma, que permite la selección, análisis y síntesis de información relevante de manera estructurada. Este análisis no solo busca mapear el estado actual de estas tecnologías, sino también identificar las herramientas y dispositivos IoT más empleados actualmente, así como sus desafíos o limitaciones en la gestión energética residencial.

El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la gestión energética al permitir la interconexión de dispositivos inteligentes para recopilar y analizar datos en tiempo real. Esto ha

facilitado la optimización del consumo energético en entornos residenciales y comerciales, convirtiéndose en una herramienta clave para la sostenibilidad global. A continuación, se analizan su evolución, casos de uso exitosos y los desafíos actuales que enfrenta su implementación.

El término Internet de las Cosas (IoT) se refiere a una red de dispositivos físicos conectados entre sí mediante Internet, capaces de comunicarse, recopilar datos y tomar decisiones de forma autónoma. En los últimos años, su aplicación en la gestión energética ha transformado sectores clave, incluyendo hogares, empresas y ciudades inteligentes.

El mercado global de IoT ha experimentado un crecimiento significativo, pasando de USD 6.8 mil millones en 2015 a proyecciones de USD 26.5 mil millones para 2023 según [8]. Este crecimiento ha sido impulsado por su capacidad para integrar fuentes de energía renovable, optimizar la demanda de carga y reducir el desperdicio energético. La integración de tecnologías como sensores inteligentes, termostatos automatizados y algoritmos predictivos ha permitido un uso más eficiente de los recursos energéticos, disminuyendo costos, impacto ambiental y mejorado la calidad de vida en los hogares, en la ciudad de Hangzhou, China, un estudio subraya la importancia de políticas y estrategias que faciliten la adopción de tecnologías inteligentes y mejoren la infraestructura de Internet para maximizar los beneficios ambientales y de eficiencia energética de los hogares y las empresas

En España, investigaciones en campus universitarios demostraron que la implementación de sistemas HVAC inteligentes puede reducir el consumo energético hasta en un 70% mediante la monitorización continua y el ajuste automático según los niveles de CO₂.

En Ecuador la adopción del IoT ha mostrado resultados prometedores. Un estudio en Santo Domingo de los Tsáchilas evidenció que la automatización de dispositivos en hogares de clase media puede reducir significativamente el consumo eléctrico, promoviendo la sostenibilidad y el ahorro energético. Asimismo, en Guayaquil, la implementación de sistemas domóticos con

dispositivos IoT ha facilitado el control remoto de aparatos eléctricos, mejorando la eficiencia energética [13].

Tecnologías como el Monitoreo de Carga No Intrusivo (NILM), combinadas con herramientas de análisis de datos como MATLAB y STATA, han demostrado su eficacia para optimizar el consumo energético, logrando reducciones significativas en costos e impactos ambientales. Además, se han desarrollado sistemas de alumbrado público inteligente que utilizan sensores IoT para ajustar la iluminación LED, mostrando mejoras en eficiencia energética en comparación con sistemas tradicionales, lo que resalta las ventajas económicas y ambientales de la adopción de estas tecnologías

Varios estudios [17]-[19] resaltan la importancia de adoptar tecnologías IoT en hogares, empresas, o campus universitarios para mejorar la eficiencia energética teniendo en común el ahorro significativo de energía y reducción de costos. Sin embargo, persisten desafíos importantes como la interoperabilidad y los costos de implementación, que limitan una adopción más amplia en los hogares inteligentes, entre las principales barreras se encuentran: las preocupaciones sobre la seguridad de los datos, la falta de experiencia, recursos económicos en hogares, pequeñas y medianas empresas (PYMEs) además de las dificultades regulatorias que complican su implementación efectiva [4]. En el caso específico de España, se ha identificado que la adaptabilidad de las tecnologías IoT puede verse afectada por las variaciones climáticas y socioeconómicas, limitando su efectividad en edificios universitarios [23]. De manera similar, en Ecuador, las regiones de Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayaquil enfrentan limitaciones relacionadas con los altos costos de implementación, problemas de conectividad y una baja concienciación sobre estas tecnologías.

Métodos y Materiales

Este estudio se basó en una investigación exploratoria y descriptiva. La investigación exploratoria permitió identificar y comprender las tecnologías actuales del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética, mientras que la investigación descriptiva se centró en documentar detalladamente el estado actual, las tendencias y la efectividad de estas aplicaciones en el ámbito energético residencial.

La metodología utilizada en esta investigación es una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), abarcando estudios de casos prácticos, tesis y artículos académicos. Este proceso se llevó a cabo siguiendo las directrices de la metodología prisma.

El desarrollo de la RSL se estructuró en tres etapas principales: Planificación, Revisión, Análisis. En esta etapa se definieron las preguntas de investigación, los criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios relevantes.

Criterios de Inclusión y Exclusión.

Inclusión	Exclusión
- Artículos revisados por pares y publicados en revistas científicas reconocidas.	- Artículos publicados en revistas científicas no reconocidas o seleccionadas
- Investigaciones publicadas en los últimos 5 años	- Estudios duplicados
- Estudios relacionados con IoT para la optimización energética en residencias	- Estudios que no se centran en el IoT o eficiencia energética en residencias

Se realizó la identificación y selección de literatura mediante búsquedas exhaustivas en bibliotecas digitales como: IEEE Xplore, Science@Direct y Scopus. La razón para seleccionarlos es porque cubren una amplia gama de publicaciones en el campo de las ciencias de la Informática manteniendo una base de datos completa y consistente. Además, se evaluaron

critérios que se alinean con los términos mencionados anteriormente para determinar las cadenas de búsquedas más adecuada para la investigación, los filtros aplicados en las bibliotecas digitales son:

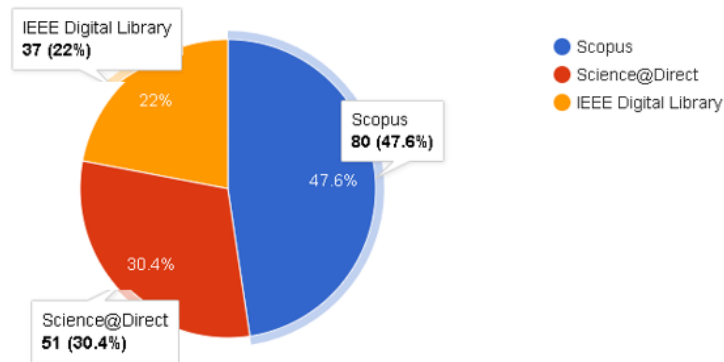
Año:	2019-2024
Área:	Limitado a la informática Limitado a la energía
Palabras claves:	Limitado a Internet de las cosas Limitado a la eficiencia energética Limitado a Hogares inteligentes
Tipo de documento:	Limitado a artículo, Abierto

A continuación, en la Tabla 1 se mostraré las cadenas de búsqueda y hallazgos que se encontraron a partir de estos filtros.

Tabla 1: Cadenas de búsqueda y resultados obtenidos por bases de datos

Cadenas de búsqueda	Scopus	lee Xplore	ScienceDirect	Total
"Internet of Things" AND ("energy efficiency" OR "energy optimization") AND "Smart homes"	47	20	15	82
"Internet of Things" OR iot AND ("energy efficiency" OR "energy management") AND ("smart homes" OR residential) AND (applications OR technologies OR devices)	15	9	19	43
("IoT applications" OR "IoT technologies") AND ("energy efficiency" OR "energy optimization") AND ("challenges" OR "trends") AND ("smart homes" OR "residential energy")	10	5	10	25
("IoT" AND "devices" AND "energy management" AND "smart homes" AND "energy efficiency")	8	3	7	18
Total	80	37	51	168

Fig. 1 Artículos seleccionados por Fuentes.



Luego de la obtención de estos resultados se importó en bibtex los datos obtenidos por cada búsqueda para trabajarlos con parcifal y poder aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

Se extrajo y sintetizó la información clave de los documentos seleccionados y aceptados, lo que permitió comprender el estado actual de las aplicaciones del IoT en la optimización de la eficiencia energética, así como identificar tendencias, desafíos y oportunidades en este campo.

Luego de trabajarlos con parcifal se obtuvieron un total de 53 artículos como se lo puede visualizar en la Tabla2 y Fig2, que ilustra el número de artículos aceptados por fuentes. En donde 42 fueron citados directamente en este trabajo debido a su relevancia directa con los objetivos del estudio.

Tabla2: Resumen de selección de artículos: duplicados, rechazados y aceptados.

	Scopus	IEEE Xplor	ScienceDirect	Total
Duplicados	18	16	25	59
Rechazado	45	4	7	56
Aceptados	17	17	19	53
Total	80	37	51	168

Fig. 2 Artículos duplicados, rechazados y aceptados por Fuentes.

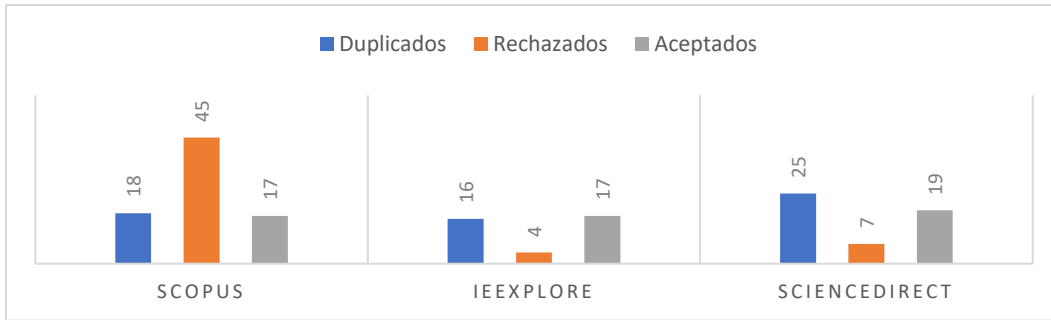
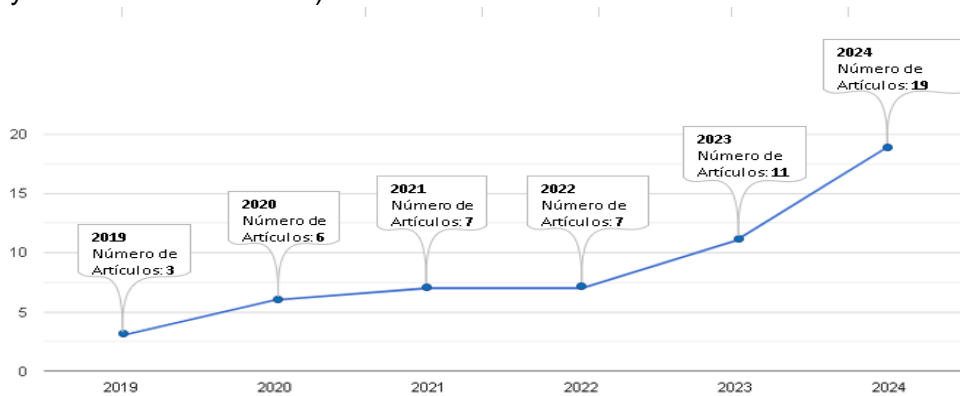
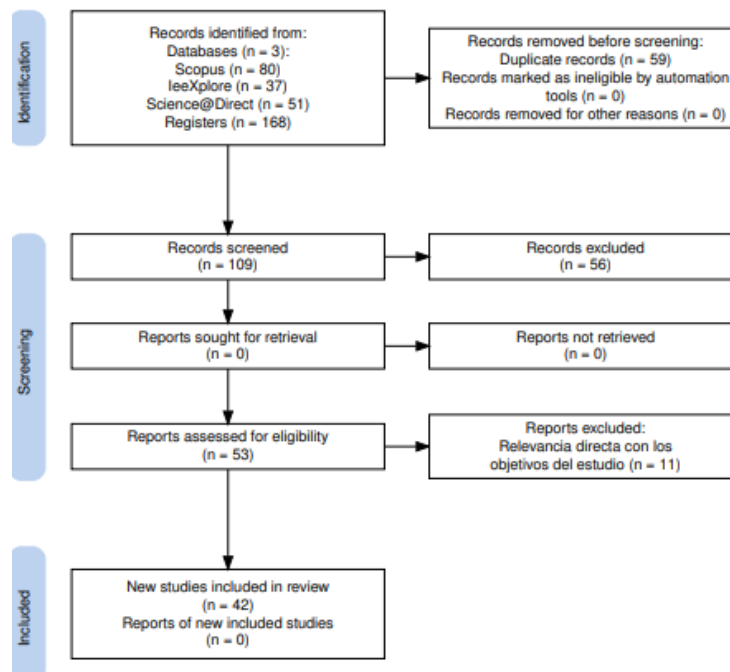


Fig. 3 Relevancia de la información a través de los años (después de la selección de estudios y evaluación de calidad)



Flujograma PRISMA aplicado a la revisión sistemática



Mediante la integración de energías renovables la arquitectura basada en Node-RED y MQTT facilita la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas, permitiendo la inclusión de fuentes de energía descentralizadas, como paneles solares y almacenamiento energético.

La gestión energética a través de sistemas distribuidos se está consolidando como una tendencia clave en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT). Esta estrategia permite la integración eficiente de fuentes de energía renovable, optimizando el consumo y la producción de energía en tiempo real. Al fomentar la participación activa de los usuarios y utilizar algoritmos de optimización, estos sistemas no solo mejoran la sostenibilidad y eficiencia energética, sino que también reducen la dependencia de la red eléctrica convencional, promoviendo un suministro energético más resiliente y adaptable. Las tecnologías descentralizadas como Fog Computing Nodes tienen el potencial de gestionar recursos energéticos distribuidos y facilitar la conexión con fuentes renovables.

Por otro lado, la Automatización del hogar con (Home Assistant) está diseñado para integrarse con fuentes de energía renovable, como paneles solares, lo que maximiza el uso de energía generada localmente y reduce la dependencia de la red eléctrica, contribuyendo así a la sostenibilidad en un contexto de creciente demanda energética.

Las plataformas IoT para la optimización energética son sistemas que conectan dispositivos inteligentes para monitorear, controlar y reducir el consumo de energía. Estas plataformas utilizan sensores, software y conectividad para recopilar y analizar datos en tiempo real, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas sobre su consumo energético. Algunas de las plataformas más conocidas actualmente son:

Nombre	Descripción	Aplicación	Beneficios
<i>EcoStruxure</i>	Plataforma IoT que ofrece soluciones de eficiencia energética [28].	Hogares e industrias	Escalabilidad e integración sin problemas
<i>Honeywell Forge</i>	Plataforma IoT diseñada para mejorar la eficiencia operativa y energética [28].	Grandes instalaciones	Análisis predictivo y gestión de activos.
<i>AI-HEMS</i>	Sistema de gestión de la energía del hogar basado en inteligencia artificial [29].	Hogares	Optimiza el consumo de energía.
<i>NodeMCU y Homergy Box</i>	Plataformas claves para la gestión energética [30], [31].	Hogares	Conectividad entre dispositivos y monitoreo.
<i>HEMS-IoT</i>	Sistema de gestión de energía doméstica [32].	Hogares	Reducción de costos y menos energía consumida
<i>OCF-IoTivity</i>	Plataforma IoT permite integrar dispositivos y servicios [33].	Hogares	Interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.

La necesidad de interoperabilidad entre diferentes dispositivos y plataformas IoT está impulsando el desarrollo de estándares abiertos, lo que facilita la integración de tecnologías en el hogar y permite que diferentes dispositivos de diferentes fabricantes trabajen juntos sin problemas. Un caso práctico sobre un sistema de monitoreo de pacientes en el hogar, destacan la importancia de una comunicación interoperable entre dispositivos multimedia y profesionales de la salud, los resultados dan una serie de desafíos de investigación abiertos y sugieren direcciones futuras para mejorar la interoperabilidad y la gestión de datos en entornos IoT, incluyendo la necesidad de desarrollar nuevos protocolos y estándares que se adapten a las características específicas de los datos multimedia. Por ejemplo, el diseño de sistemas como el Homergy Box demuestra esfuerzos por superar estas barreras mediante arquitecturas adaptables y conectividad universal.

Sistemas como el AI-IoT Communication Optimizer y la arquitectura Fog-Based IoT demostraron cómo el uso de estándares abiertos puede reducir redundancias en un 22% y facilitar la interoperabilidad en entornos con dispositivos heterogéneos [35], [26]. Además, Las

<i>Est</i>	<i>Año</i>	<i>Tecnología utilizada</i>	<i>Reducción del consumo energético (%)</i>	<i>Descripción</i>
<i>A</i>	202			Permite la identificación precisa de patrones de consumo de energía [37].
<i>B</i>	2024	Sistemas de Gestión de Energía Basado en IA (IA - HEMS)	14%	Optimiza el consumo de energía mientras Mantiene un alto nivel de satisfacción entre los usuarios [29].
<i>C</i>	2023	Sistemas HVAC Inteligente	70%	Monitorización continua y el ajuste automático según los niveles de CO ₂
<i>D</i>	2023	Algoritmos Predictivos	36.82%	Automatización, combinada con análisis predictivo en dispositivos IoT en el borde
<i>E</i>	2023	Automatización del hogar con (Home Assistant)	19%	Permite monitorizar y controlar el consumo de electrodomésticos [27].
<i>F</i>	2023	Visión computacional	Iluminación del 30% y climatización del 20%	Ajusta automáticamente en luces y sistemas de climatización según la presencia de usuarios.

plataformas como IoTivity, utiliza estándares abiertos para garantizar la conectividad y compatibilidad entre dispositivos IoT. Esto permite manejar redes heterogéneas de sensores y actuadores en hogares inteligentes. De manera similar, Node-RED facilita la integración mediante el uso de protocolos como MQTT y Modbus, eliminando barreras de comunicación entre dispositivos.

Los sistemas de automatización inteligente del hogar utilizan tecnologías IoT para controlar dispositivos como termostatos, luces y electrodomésticos de manera eficiente, estos sistemas aprenden de los patrones de uso y ajustan el consumo energético, lo que resulta en un ahorro significativo promoviendo la sostenibilidad. Antes de la integración del IoT, los dispositivos operaban de manera aislada, limitando su eficiencia. Hoy en día, con la automatización basada en IoT, los hogares inteligentes alcanzan una mayor eficiencia energética, a la vez que garantizan comodidad, seguridad y sostenibilidad .

Tabla 3: Tecnologías IoT utilizadas y la reducción del consumo energético en hogares.

El estudio identifica una amplia variedad de dispositivos y herramientas IoT utilizados actualmente, entre los que destacan:

Tabla 4: Descripción de sensores y dispositivos IoT empleados

Nombre del Sensor	Tipo de Sensor	Función Principal	Variables Monitoreadas	Aplicaciones
<i>CT-sensor</i>	Sensor de corriente	Medir la corriente alterna mediante la detección del campo magnético generado alrededor del cable conductor [39].	Corriente alterna (AC) y Potencia aparente	Automatización del hogar y Monitoreo de equipos industriales
<i>Sensores de Corriente</i>	Intrusivo	Monitoreo del consumo energético de dispositivos individuales [30].	Corriente, Voltaje, Potencia	Gestión energética en hogares
<i>Sensores de Movimiento PIR</i>	Infrarrojo Pasivo	Detección de presencia y movimiento [12].	Radiación infrarroja, Presencia	Sistemas de seguridad, automatización de iluminación
<i>Sensores de Temperatura</i>	Ambiental	Monitoreo de la temperatura del ambiente	Temperatura	Control de sistemas HVAC, confort térmico
<i>Sensores de Calidad del Aire</i>	Ambiental	Monitoreo de la calidad del aire	CO ₂ , Humedad, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	Mejora de la calidad del aire en interiores
<i>Vision-Based Sensors</i>	Visual	Ajuste automático de dispositivos según la presencia [38].	Datos visuales, Presencia	Optimización de iluminación y climatización

<i>Homergy Box</i>	Conector IoT	Conexión de dispositivos tradicionales a plataformas IoT [31].	Consumo energético, Estado de dispositivos	Integración de dispositivos en redes IoT
<i>ILM Sensors</i>	Intrusivo	Monitoreo directo del consumo energético [37].	Consumo energético por dispositivo	Análisis detallado de consumo energético
<i>NILM Algorithms</i>	No intrusivo	Desagregación del consumo energético [37].	Consumo energético agregado, Patrones de uso	Identificación de patrones de uso por dispositivo

A medida que más dispositivos se conectan a Internet, la protección de datos y la privacidad del usuario se convierten en preocupaciones críticas.

En un análisis realizado sobre la seguridad y privacidad en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), destaca que la protección de los dispositivos conectados es fundamental para su aceptación y funcionamiento efectivo. Los resultados indican que, a pesar de los avances tecnológicos, muchos dispositivos IoT aún presentan vulnerabilidades significativas debido a limitaciones en sus recursos y la falta de mecanismos de seguridad robustos. Además, se subraya la importancia de establecer estándares y políticas de seguridad que guíen a los fabricantes en la implementación de soluciones efectivas.

En los hogares de Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayaquil, se han identificado varias limitaciones y desafíos en la implementación de la tecnología IoT para la domótica, debido a factores como: costos de implementación, conectividad y seguridad.

Uno de los principales retos en la implementación de IoT es la protección de los datos sensibles generados por dispositivos inteligentes. IoTivity aborda estos problemas mediante el uso de modelos predictivos seguros y la implementación de estándares de privacidad en redes domésticas inteligentes.

La interoperabilidad del Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la capacidad de diferentes entidades, como dispositivos, usuarios y recursos de información, para comunicarse y trabajar

juntos de manera efectiva dentro de un sistema conectado. Sin embargo, alcanzar un alto nivel de interoperabilidad puede ser un desafío, dado que implica la necesidad de estandarización en los protocolos de comunicación y en las interfaces de programación, así como la adopción de normas internacionales que guíen el desarrollo y la gestión de estos sistemas.

Un estudio revela que, tras una exhaustiva revisión de la literatura, se han identificado 67 estándares internacionales clave que abordan los desafíos de interoperabilidad y seguridad en el ámbito de la Internet de las Cosas (IoT). A través de este estudio, se destaca la importancia de adoptar estos estándares, ya que muchos de ellos integran consideraciones de seguridad junto con la interoperabilidad, lo que subraya la necesidad de abordarlos de manera conjunta. Sin embargo, a pesar de la existencia de estos marcos normativos, persisten desafíos significativos que dificultan la implementación efectiva de soluciones IoT seguras y compatibles indicando que se realicen investigaciones más profundas que fortalezcan los estándares actuales y fomenten la colaboración entre diversas partes interesadas en el sector. Por ejemplo La integración de dispositivos no inteligentes con dispositivos IoT inteligentes es un avance significativo hacia la interoperabilidad, aunque persisten desafíos al trabajar con dispositivos de diferentes fabricantes. Como es el caso de la arquitectura Fog-Based IoT que identificó barreras para integrar dispositivos de distintos fabricantes.

IoTivity propone soluciones que utilizan estándares abiertos, lo que mejora la integración de sistemas y reduce los costos asociados a la fragmentación tecnológica [33]. Node-RED también promueve la interoperabilidad mediante el uso de protocolos estándar y herramientas visuales.

Una revisión de la perspectiva tecno-económica de una red inteligente y sus desafíos, destacan que la adopción de tecnologías avanzadas requiere una inversión inicial considerable, especialmente en la infraestructura de medición avanzada (AMI), que incluye sistemas de gestión de datos y redes de comunicación. Aunque los costos de implementación y de mantenimiento

son un desafío significativo, los resultados potenciales en términos de eficiencia, sostenibilidad y ahorro a largo plazo hacen que las redes inteligentes sean una opción prometedora para el futuro del sector energético.

Un estudio indica que el sistema híbrido ILM-NILM representa una solución efectiva, pero su implementación inicial puede ser costosa. No obstante, los ahorros de hasta un 25% en el consumo energético justifican su adopción. De manera similar IoTivity utiliza algoritmos optimizados para reducir el consumo de recursos, Node-RED y Raspberry Pi destacan por su enfoque de bajo costo, utilizando hardware accesible y software de código abierto.

La gestión de datos de redes de sensores inalámbricos (WSNs) para Internet de las Cosas (IoT) es crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia en la recolección y transmisión de información. Los resultados simulados muestran que este enfoque logra un 19.33% de mejora en la precisión de detección en comparación con métodos anteriores, además de reducir el tiempo de certificación y la carga computacional, sin embargo se identifican varias dificultades entre las que se incluyen: *la seguridad y autenticación de nodos para prevenir accesos no autorizados, la revocación efectiva de nodos maliciosos, la eficiencia en la transmisión de datos para minimizar latencia y consumo energético, la carga computacional adicional que puede surgir con el uso de tecnologías como blockchain, y los desafíos de escalabilidad a medida que aumenta el número de nodos en la red.* En el futuro, se prevé optimizar aún más la gestión de datos y recursos para obtener resultados más efectivos.

Por otro lado el almacenamiento continuo de datos de consumo en la nube, como en el sistema basado en NodeMCU, permite análisis posteriores para identificar oportunidades de ahorro energético, aunque plantea desafíos en cuanto a la escalabilidad y seguridad. La gestión distribuida a través de nodos Fog Computing optimizó el almacenamiento y análisis de datos, minimizando costos y mejorando la eficiencia operativa.

La recopilación, almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos son esenciales para la optimización energética. Los sistemas basados en Node-RED y MQTT demuestran una alta eficiencia en la gestión de datos en tiempo real, integrando múltiples flujos de información en una sola plataforma.

A medida que la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) avanza rápidamente, surgen serias preocupaciones la mayoría de la investigación se ha centrado en las vulnerabilidades de seguridad, mientras que los aspectos éticos y de privacidad han recibido menos atención, lo que deja a los usuarios desinformados y vulnerables. Además, solo unos pocos países han implementado leyes específicas para regular el IoT, lo que genera un vacío legal que afecta cada vez más nuestras vidas digitales. Estos resultados subrayan la falta de un marco regulatorio robusto y coherente para el IoT, destacando la necesidad urgente de una legislación más específica y efectiva que aborde los desafíos de seguridad, privacidad y ética asociados con esta tecnología.

Superar estas barreras requiere esfuerzos conjuntos entre desarrolladores, reguladores y usuarios finales para garantizar que las tecnologías IoT sean accesibles, seguras y efectivas.

Discusión

Este estudio analiza cómo el Internet de las Cosas (IoT) contribuye a la eficiencia energética en hogares inteligentes, destacando tecnologías clave como NILM, sensores inteligentes, y plataformas como NodeMCU y Home Assistant. Los resultados confirman su impacto en la reducción del consumo energético, ahorro económico y mayor comodidad, fomentando la sostenibilidad ambiental.

En relación con estudios previos, se observa que las tecnologías IoT han evolucionado significativamente en términos de precisión y accesibilidad, destacándose su capacidad para automatizar procesos antes dependientes de la intervención humana [14], [27]. Sin embargo,

persisten desafíos relacionados con la interoperabilidad de dispositivos, los costos de implementación y la protección de datos. Este estudio amplía la literatura al identificar casos específicos, como la efectividad de los sistemas HVAC inteligentes y el impacto positivo de las arquitecturas basadas en Node-RED para integrar fuentes de energía renovables [11], [31]. Estas aplicaciones subrayan la necesidad de avanzar hacia estándares abiertos y arquitecturas flexibles para fomentar una adopción más amplia y eficiente.

Para superar las barreras actuales, se subraya la necesidad de estándares abiertos, colaboración entre desarrolladores, reguladores y usuarios, y políticas públicas que incentiven su adopción, especialmente en regiones con infraestructuras limitadas. Este estudio ofrece un análisis integral que puede ser complementado por investigaciones empíricas futuras en contextos específicos. También sería valioso evaluar cómo las normativas locales afectan la implementación del IoT. Las limitaciones del presente estudio incluyen la dependencia de datos bibliográficos y la ausencia de validaciones experimentales directas. Aunque la metodología Prisma garantiza rigor y transparencia en la selección de información, futuros estudios podrían complementar estos hallazgos mediante investigaciones empíricas que evalúen el impacto de tecnologías IoT en contextos específicos. Asimismo, sería valioso explorar con mayor profundidad el impacto de las regulaciones y normativas locales en la adopción de IoT.

Este trabajo aporta una visión sólida del impacto del IoT en la gestión energética y propone soluciones para maximizar su adopción y beneficios en la transición hacia hogares más sostenibles.

Conclusión

Este trabajo destaca el papel transformador del Internet de las Cosas (IoT) en la eficiencia energética de hogares inteligentes, subrayando cómo tecnologías como NILM, HEMS y sistemas HVAC inteligentes, junto con plataformas avanzadas como NodeMCU y Home Assistant, pueden reducir el consumo energético, los costos y el impacto ambiental. Estas soluciones integran energías renovables y ofrecen control dinámico en tiempo real, representando una herramienta clave para la sostenibilidad global.

Sin embargo, existen barreras significativas como la falta de interoperabilidad, altos costos iniciales y preocupaciones de seguridad y privacidad. Superarlas requiere estándares abiertos, incentivos para la adopción tecnológica y campañas que destaquen sus beneficios.

La principal contribución de este trabajo reside en el potencial transformador del IoT en la eficiencia energética residencial. Al abordar las barreras actuales y potenciar su implementación, las tecnologías IoT pueden desempeñar un papel clave en la construcción de un futuro más eficiente, sostenible y conectado. La adopción masiva de estas herramientas no solo beneficiará a los usuarios finales, sino que también contribuirá al cumplimiento de los objetivos globales de sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático.

Referencias Bibliographical.

- «IoT can help small and medium businesses implement sustainability measures», World Economic Forum. Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/iot-small-medium-businesses-profitable-sustainable/>
- A. Singh, «IoT For Small Businesses And Its Applications- Embracing The Power Of Connected Devices». Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ruralhandmade.com/blog/iot-for-small-businesses-and-its-applications-embracing-the>
- «IoT + AI, or how to reduce energy costs | Firmbee». Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://firmbee.com/iot-ai-or-how-to-reduce-energy-costs>
- X. Li, H. Zhao, Y. Feng, J. Li, Y. Zhao, y X. Wang, «Research on key technologies of high energy efficiency and low power consumption of new data acquisition equipment of power Internet of Things based on artificial intelligence», *International Journal of Thermofluids*, vol. 21, p. 100575, feb. 2024, doi: 10.1016/j.ijft.2024.100575.
- K. Alnowaiser, A. A. Alarfaj, E. A. Alabdulqader, M. Umer, L. Cascone, y B. Alankar, «IoT based smart framework to predict air quality in congested traffic areas using SV-CNN ensemble and KNN imputation model», *Computers and Electrical Engineering*, vol. 118, p. 109311, ago. 2024, doi: 10.1016/j.compeleceng.2024.109311.
- L. M. Amaya Fariño, A. Tumbaco Reyes, E. Roca Quirumbay, T. Villón González, B. Mendoza Morán, y Á. Reyes Quimís, «El IoT aplicado a la Domótica», *RCTU-UPSE*, vol. 7, n.º 1, pp. 21-28, jun. 2020, doi: 10.26423/rctu.v7i1.490.
-

L. E. Valverde Canga, «Sistema de ahorro energético para una vivienda utilizando internet de las cosas en un entorno inteligente», bachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2023, 2023. Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: El IoT aplicado a la Domótica», RCTU-UPS

«Using the internet of things in smart energy systems and networks», *Sustainable Cities and Society*, vol. 68, p. 102783, may 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.102783.

E. Rodríguez, «▷ Energía Inteligente: Optimización y Ahorro con el IoT en el Hogar 【 Canal Innova 】 », Canal Innova. Accedido: 3 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://canalinnova.com/energia-inteligente-optimizacion-y-ahorro-con-el-iot-en-el-hogar/>

«Does smart home adoption reduce household electricity-related CO2 emissions? —Evidence from Hangzhou city, China - ScienceDirect». Accedido: 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054422303284X?__cf_chl_tk=OttUNAZiOd.a_v5VSrelym6Y6p_62.0k7mPdWJXs0ww-1719869766-0.0.1.1-6569

«Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain», *Energy and Buildings*, vol. 285, p. 112882, abr. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112882.

R. E. Ramírez Bósquez, «IoT para ahorro energético de los hogares de Santo Domingo de los Tsáchilas.», bachelorThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ESPESD. Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información., 2024. Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/37639>

M. D. Paredes Gutiérrez, «Análisis de dispositivos IoT para uso en domótica y su desarrollo en la ciudad de Guayaquil», bachelorThesis, 2024. Accedido: 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27883>

«Intelligent home energy management using Internet of Things platform based on NILM technique», *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 31, p. 100785, sep. 2022, doi: 10.1016/j.segan.2022.100785.

M. Ehsanifar, F. Dekamini, C. Spulbar, R. Birau, M. Khazaei, y I. C. Bărbăcioru, «A Sustainable Pattern of Waste Management and Energy Efficiency in Smart Homes Using the Internet of Things (IoT)», *Sustainability*, vol. 15, n.º 6, Art. n.º 6, ene. 2023, doi: 10.3390/su15065081.

M. E. E. Alahi *et al.*, «Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends», *Sensors*, vol. 23, n.º 11, p. 5206, may 2023, doi: 10.3390/s23115206.

«IoT based smart and intelligent smart city energy optimization», *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 49, p. 101724, feb. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2021.101724.

«Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al₂O₃/synthetic oil nanofluid», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 636-644, may 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.02.028.

I. G. M. Ngurah Desnanjaya y I. M. Aditya Nugraha, «Real-time monitoring system for blood pressure monitoring based on internet of things», *IJECS*, vol. 35, n.º 1, p. 62, jul. 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v35.i1.pp62-69.

- C. Y. Bryan Roy, «Desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo de variables eléctricas requeridas en Sistema de Gestión Energética.», bachelorThesis, Universidad Nacional de Loja, 2024. Accedido: 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/29238>
- E. Lee, Y.-D. Seo, S.-R. Oh, y Y.-G. Kim, «A Survey on Standards for Interoperability and Security in the Internet of Things», *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 23, n.º 2, pp. 1020-1047, 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3067354.
- M. J. Rana, A. A. Tareq, M. M. Hasan, T. Aziz, y M. M. R. Neidhe, «A Review on Techno-Economic Perspective of a Smart Grid and its Challenges», *Control Syst. Optim. Lett.*, vol. 2, n.º 1, pp. 120-125, jun. 2024, doi: 10.59247/csol.v2i1.83.
- «Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain», *Energy and Buildings*, vol. 285, p. 112882, abr. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112882.
- C.-Y. Chen, S.-H. Wu, B.-W. Huang, C.-H. Huang, y C.-F. Yang, «Web-based Internet of Things on environmental and lighting control and monitoring system using node-RED, MQTT and Modbus communications within embedded Linux platform», *Internet of Things*, vol. 27, p. 101305, oct. 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101305.
- M. A. M. Sadeeq y S. Zeebaree, «Energy Management for Internet of Things via Distributed Systems», *JASTT*, vol. 2, n.º 02, pp. 80-92, jul. 2021, doi: 10.38094/jastt20285.
- M. Umair, M. A. Cheema, B. Afzal, y G. Shah, «Energy management of smart homes over fog-based IoT architecture», *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 39, p. 100898, sep. 2023, doi: 10.1016/j.suscom.2023.100898.
-

B. Mataloto, J. C. Ferreira, y R. P. Resende, «Long Term Energy Savings Through User Behavior Modeling in Smart Homes», *IEEE Access*, vol. 11, pp. 44544-44558, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3272888.

«### Mejores Plataformas IoT para la Optimización Energética: Ahorro y Eficiencia en el Hogar y la Industria - TICNUS Technology Magazine». Accedido: 24 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ticnus.com/noticias/iot-internet-de-las-cosas/mejores-plataformas-iot-para-la-optimizacion-energetica-ahorro-y-eficiencia-en-el-hogar-y-la-industria/>

K. Kwon, S. Lee, y S. Kim, «AI-Based Home Energy Management System Considering Energy Efficiency and Resident Satisfaction», *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, n.º 2, pp. 1608-1621, ene. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3104830.

«Internet of Things based Smart Energy Management for Smart Home», *KSII TIIS*, vol. 13, n.º 6, jun. 2019, doi: 10.3837/tiis.2019.06.001.

E. A. Affum, K. Agyeman-Prempeh, C. Adumatta, K. Ntiamoah-Sarpong, y J. Dzisi, «Smart Home Energy Management System based on the Internet of Things (IoT)», *IJACSA*, vol. 12, n.º 2, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120290.

I. Machorro-Cano, G. Alor-Hernández, M. A. Paredes-Valverde, L. Rodríguez-Mazahua, J. L. Sánchez-Cervantes, y J. O. Olmedo-Aguirre, «HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving», *Energies*, vol. 13, n.º 5, p. 1097, mar. 2020, doi: 10.3390/en13051097.

A. N. Khan, A. Rizwan, R. Ahmad, y D. H. Kim, «An OCF-IoTivity enabled smart-home optimal indoor environment control system for energy and comfort optimization», *Internet of Things*, vol. 22, p. 100712, jul. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100712.

- G. Yang, M. A. Jan, A. U. Rehman, M. Babar, M. M. Aimal, y S. Verma, «Interoperability and Data Storage in Internet of Multimedia Things: Investigating Current Trends, Research Challenges and Future Directions», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 124382-124401, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006036.
- A. H. Sodhro *et al.*, «Toward Convergence of AI and IoT for Energy-Efficient Communication in Smart Homes», *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, n.º 12, pp. 9664-9671, jun. 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3023667.
- A. S. Abdulraheem *et al.*, «Home Automation System based on IoT», vol. 62, n.º 05, 2020.
- P. Franco, J. M. Martinez, Y.-C. Kim, y M. A. Ahmed, «IoT Based Approach for Load Monitoring and Activity Recognition in Smart Homes», *IEEE Access*, vol. 9, pp. 45325-45339, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3067029.
- L. Chenguang, «An Efficient Vision-based Approach for Optimizing Energy Consumption in Internet of Things and Smart Homes», *IJACSA*, vol. 14, n.º 6, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0140672.
- R.-C. Mihailescu, D. Hurtig, y C. Olsson, «End-to-end anytime solution for appliance recognition based on high-resolution current sensing with few-shot learning», *Internet of Things*, vol. 11, p. 100263, sep. 2020, doi: 10.1016/j.iot.2020.100263.
- Y. Yang, L. Wu, G. Yin, L. Li, y H. Zhao, «A Survey on Security and Privacy Issues in Internet-of-Things», *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, n.º 5, pp. 1250-1258, oct. 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2694844.
- R. Goyat *et al.*, «Blockchain-Based Data Storage With Privacy and Authentication in Internet of Things», *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, n.º 16, pp. 14203-14215, ago. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2020.3019074.
-

A. Karale, «The Challenges of IoT Addressing Security, Ethics, Privacy, and Laws»,
Internet of Things, vol. 15, p. 100420, sep. 2021, doi: 10.1016/j.iot.2021.100420.