SYSTEMATIC REVIEW ON THE IMPACT OF IOT DEVICES ON ENERGY EFFICIENCY IN SMART HOMES

Howard Alberto Bernal Pardo [1]; *Odalis Jacqueline Flores Camacho*[2]; *Eduardo Jesus Garces Rosendo*[3]
Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Lima-Perú,
u19208102@utp.edu.pe, u19208563@utp.edu.pe, c18503@utp.edu.pe

ABSTRACT– The adoption of IoT devices in smart homes represents a key opportunity to optimize energy efficiency and promote more sustainable consumption. However, the lack of common standards and interoperability issues among manufacturers constitute significant obstacles to large-scale implementation. The main objective of this review was to evaluate the impact of IoT devices on energy efficiency in smart homes, highlighting the most commonly used devices, as well as their benefits and limitations. To achieve this, the PICO technique was applied, identifying the components according to the intervention question and establishing the corresponding keywords. A total of 221 articles were found in the SCOPUS database, which were filtered and selected according to the established eligibility criteria using the PRISMA flow diagram. This resulted in a final sample of 72 studies. The results show that IoT significantly improves the monitoring and control of energy consumption, although it faces technical limitations that hinder its widespread adoption. A key aspect identified is the need to establish standards that promote interoperability, which would allow for a more efficient and effective use of these technologies in sustainable homes. The findings of this review provide a solid foundation to guide future research and practical applications, aiming to overcome current technological challenges and seize opportunities for optimization in domestic energy management.

Keywords - IoT, smart homes, energy efficiency, energy management, smart devices.

REVISION SISTEMATICA SOBRE EL IMPACTO DE DISPOSITIVOS IOT EN LA EFICIENCIA ENERGETICA EN HOGARES INTELIGENTES

Howard Alberto Bernal Pardo [1]; *Odalis Jacqueline Flores Camacho*[2]; *Eduardo Jesus Garces Rosendo*[3]
Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Lima-Perú,
u19208102@utp.edu.pe, u19208563@utp.edu.pe, c18503@utp.edu.pe

RESUMEN- La adopción de dispositivos IoT en hogares inteligentes representa una oportunidad clave para optimizar la eficiencia energética y promover un consumo más sostenible. Sin embargo, la falta de estándares comunes y los problemas de interoperabilidad entre fabricantes constituyen obstáculos significativos para su implementación a gran escala. El objetivo principal de esta revisión fue evaluar el impacto de los dispositivos IoT en la eficiencia energética de los hogares inteligentes, destacando los dispositivos más utilizados, así como sus beneficios y limitaciones. Para ello, se aplicó la técnica PICO, identificando los componentes según la pregunta de intervención y estableciendo las palabras clave correspondientes. Se encontraron 221 artículos en la base de datos SCOPUS, los cuales fueron filtrados y seleccionados de acuerdo con los criterios de elegibilidad establecidos, utilizando el diagrama de flujo PRISMA. Esto resultó en una muestra final de 72 estudios. Los resultados muestran que el IoT mejora significativamente el monitoreo y control del consumo energético, aunque enfrenta limitaciones técnicas que dificultan su adopción generalizada. Un aspecto clave identificado es la necesidad de establecer estándares que favorezcan la interoperabilidad, lo que permitiría un uso más eficiente y efectivo de estas tecnologías en hogares sostenibles. Los hallazgos de esta revisión ofrecen una base sólida para guiar futuras investigaciones y aplicaciones prácticas, con el objetivo de superar los desafíos tecnológicos actuales y aprovechar las oportunidades de optimización en la gestión energética doméstica.

Keywords: IoT, hogares inteligentes, eficiencia energética, gestión energética, dispositivos inteligentes.

I. INTRODUCCIÓN

En la era tecnológica actual, los hogares inteligentes se destacan como clave para la sostenibilidad y eficiencia energética. Los dispositivos IoT permiten monitorear y optimizar el consumo energético, reduciendo costos y cuidando el ambiente [1]. Incluyen sensores y sistemas automatizados que gestionan la energía inteligentemente, adaptándose a las necesidades de los usuarios y al comportamiento del hogar [2].

No obstante, La implementación de IoT en hogares presenta desafíos técnicos, como la falta de estandarización en protocolos y la limitada interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Estas barreras dificultan la optimización total de la eficiencia energética en hogares inteligentes [3]. Sin embargo, los avances en tecnología IoT muestran que una integración adecuada puede impactar positivamente en la gestión energética y la sostenibilidad residencial.

En este contexto, esta Revisión Sistemática de Literatura (RSL) examina el impacto de los dispositivos IoT en la optimización del consumo energético en hogares inteligentes, evaluando las tecnologías disponibles, sus ventajas y limitaciones, así como su comparación con métodos convencionales. El objetivo principal de esta RSL es evaluar cómo los dispositivos IoT afectan la eficiencia energética de los hogares inteligentes, identificando los más utilizados y evaluando tanto sus beneficios como sus limitaciones. Los resultados obtenidos tienen como finalidad orientar futuras investigaciones y aplicaciones prácticas, superando los retos tecnológicos actuales y aprovechando las oportunidades para mejorar la gestión energética doméstica.

Este documento se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe la metodología PICO y PRISMA empleada en la RSL, abarcando desde las preguntas de investigación hasta la selección de los estudios incluidos. La sección 3 presenta los resultados, con un enfoque en las aplicaciones de IoT y su impacto en el consumo energético. La sección 4 se dedica a la discusión de los resultados, interpretando los hallazgos y comparándolos con estudios previos. Finalmente, la sección 5 ofrece las conclusiones, resumiendo los hallazgos clave y proponiendo futuras líneas de investigación para abordar los desafíos y aprovechar las oportunidades en la gestión energética doméstica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La técnica PICO se empleó para descomponer una pregunta de investigación en interrogantes empíricas siguiendo la secuencia: Problema (P), Intervención (I), Comparación (C) y Resultado (O) (ver Tablas 1 y 2). Este enfoque permite estructurar la investigación de manera clara y precisa, identificando los elementos clave de cada componente y formulando preguntas que guían el proceso de análisis. Al aplicar este método, se facilita la selección de estudios relevantes y se optimiza la interpretación de los resultados en función de los objetivos de la investigación.

TABLA I.

Pregunta orientadora pico y subpreguntas

RQ: ¿Cómo influye la implementación de sistemas de IoT en la optimización de la sostenibilidad energética de los hogares inteligentes en comparación con aquellos que no los emplean?
RQ1: ¿Qué dispositivos IoT son más utilizados para optimizar la gestión energética en hogares inteligentes?
RQ2: ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de implementar medidores de consumo de energía basados en IoT para la gestión energética en hogares inteligentes?
RQ3: ¿Cuáles son las diferencias en eficiencia energética entre los hogares que utilizan dispositivos IoT y aquellos que emplean soluciones no estructuradas o convencionales?
RQ4: ¿En qué medida los dispositivos IoT pueden contribuir a la reducción del consumo energético en hogares inteligentes?

TABLA II.

Componentes pico y palabras clave

P	Dispositivos IOT	"Smartphone" OR "Smart phone" OR "Smart building" OR "Smart camera" OR "Smart device" OR "Internet of Things" OR "IOT"
I	Medidores de consumo de energía	"Energy Load monitoring" OR "Power consumption" OR "Power supplies" OR "Computer applications" OR "Power demand" OR "Energy efficiency"
C	Implementaciones casuales	"Home appliances" OR "Home automation" OR "Control systems" OR "Smart buildings" OR "Smart homes" OR "Intelligent structures"
O	Energy Efficiency	"Energy management" OR "Energy informatics" OR "Green design" OR "Energy saving" OR "Energy conservation" OR "Power system management"

A. Estrategia de Búsqueda

Partiendo de la tabla 2, se construyó la ecuación de búsqueda, para SCOPUS, la ecuación fue:

(TITLE-ABS-KEY ("Smartphone" OR "Smart phone" OR "Smart building" OR "Smart camera" OR "Smart device" OR "Internet of Things" OR "IOT") AND TITLE-ABS-KEY ("Energy Load monitoring" OR "Power consumption" OR "Power supplies" OR "Computer applications" OR "Power demand" OR "Energy efficiency") AND TITLE-ABS-KEY ("Home appliances" OR "Home automation" OR "Control system" OR "Smart building" OR "Smart home" OR "Intelligent structures") AND TITLE-ABS-KEY ("Energy management" OR "Energy informatics" OR "Green design" OR "Energy saving" OR "Energy conservation" OR "Power system management")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (OA , "all"))

B. Criterios de elegibilidad

Como parte del objetivo central de la investigación, se definieron y aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

-Criterios de inclusión:

-CI1: Estudios que aborden la utilización de dispositivos IoT enfocados en la optimización energética.

-CI2: Estudios que aborden los beneficios de los dispositivos IoT para la gestión energética en hogares.

-CI3: Estudios que aborden la reducción del consumo energético en hogares inteligentes.

-Criterios de Exclusión:

-CE1: No se considerará publicaciones distintas al idioma inglés.

-CE2: No se considerará estudios que no sean artículos originales.

-CE3: No se considerará artículos anteriores al año 2020

C. Selección de estudios

En SCOPUS se identificaron inicialmente 221 artículos, los cuales fueron filtrados según los criterios de elegibilidad establecidos, dando como resultado una muestra final de 72 estudios. Para refinar las referencias y asegurar que los estudios seleccionados cumplían con los requisitos del análisis en profundidad, se utilizó la técnica PRISMA (ver Figura 1)

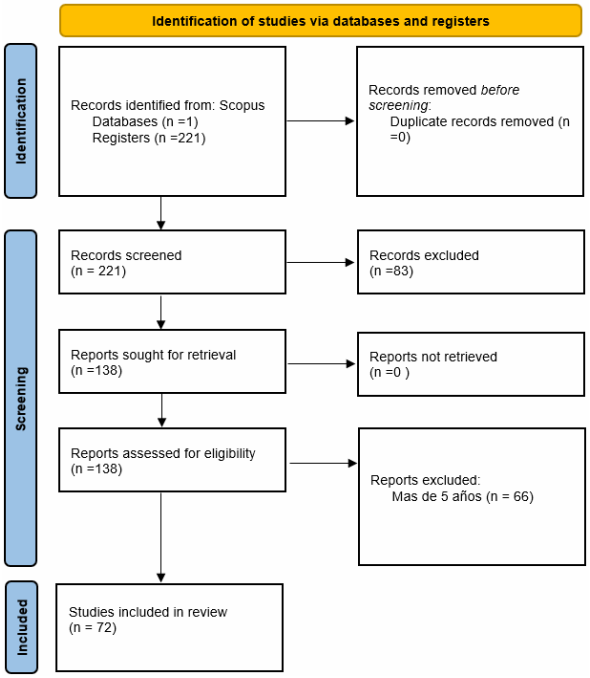

Fig. 1 Diagrama de flujo Prisma

III. RESULTADOS

Análisis Bibliométrico

Las publicaciones seleccionadas, conforme a los criterios de exclusión, se muestran en el Gráfico 1, asegurando que no superen los 5 años de antigüedad. Se observa que el 30.5% de los artículos corresponden a 2024, mientras que los años 2020 y 2021 representan el 24.4% cada uno. En menor proporción, los años 2023 y 2022 contribuyen con el 13.4% y el 7.3%, respectivamente.

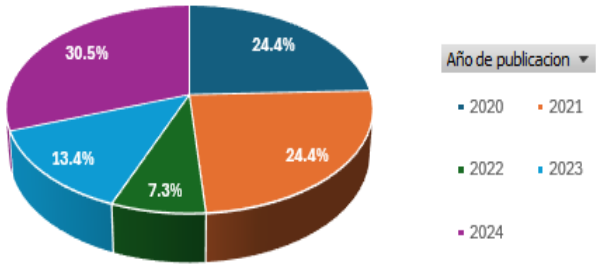

Fig. 2 Artículos publicados por año

La Figura 3 muestra los países de origen de las publicaciones seleccionadas, destacando a Asia como la región predominante. China lidera con 8 artículos, seguida de Corea con 6, y Arabia Saudita e Irak, que aportan 5 artículos cada uno. En Europa, Italia se destaca con 5 artículos, seguida de España con 4. En África, Marruecos contribuye con 4 artículos. Las representaciones de América y Oceanía son más reducidas en comparación.

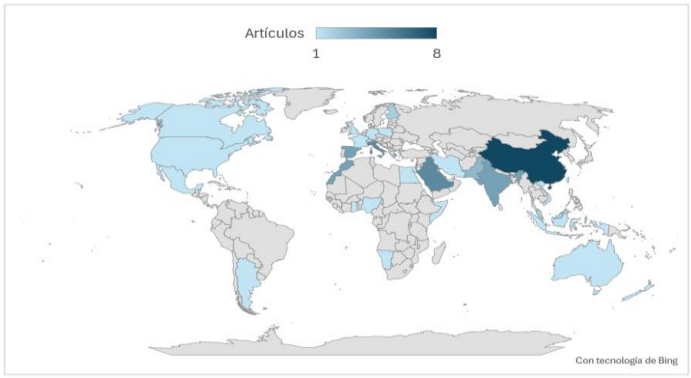

Fig. 3 Países con cantidad de artículos

La figura 4 presenta las principales revistas de origen de los artículos utilizados en esta RSL. La revista MDPI AG destaca con 19 artículos, seguida por el Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. con 9 artículos. También se identifican otras revistas con una representación menor, que contribuyen con una cantidad reducida de artículos seleccionados.

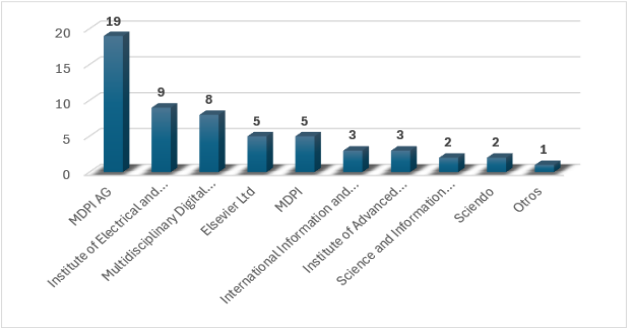

Fig. 4 Revistas usadas en la extracción

Análisis de acuerdo con las preguntas PICO

RQ1 ¿Qué dispositivos IoT son más utilizados para optimizar la gestión energética en hogares inteligentes?

Los dispositivos IoT son clave para la gestión energética, empleando herramientas como sensores, medidores inteligentes y sistemas NILM para desagregar el consumo y optimizar sistemas como HVAC, iluminación y ventilación, además de monitorear variables ambientales como temperatura, humedad y calidad del aire [1],[2]. Controladores y termostatos inteligentes ajustan el consumo según ocupación y luz natural [3]-[6]. La conectividad, mediante módulos como Wi-Fi, ZigBee, LoRa y Bluetooth, coordina sensores y actuadores a través de HEMS [7]-[12]. La integración de fuentes renovables, como sistemas fotovoltaicos y eólicos, junto con almacenamiento en baterías, facilita la gestión y monitoreo energético en tiempo real [13]-[17]. Los BEMS en edificios inteligentes optimizan el consumo

usando sensores de ocupación, CO2, temperatura y humedad [18]-[22]. Los algoritmos de aprendizaje automático y los gemelos digitales ajustan dispositivos IoT en tiempo real, mejorando la eficiencia [23]-[25]. Microcontroladores y actuadores alinean el consumo de cada dispositivo con las necesidades del hogar y la disponibilidad energética [26]-[28].

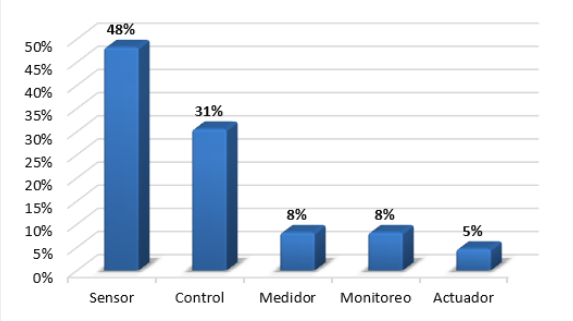

Fig. 5 Dispositivos IoT más Utilizados

La figura 5 muestra la frecuencia de uso de dispositivos IoT en la gestión energética de hogares inteligentes. Los sensores lideran debido a su función en la recopilación de datos clave como temperatura, humedad y consumo energético [24], [29]. Les siguen los controladores, esenciales para regular los sistemas del hogar [30]. Los medidores inteligentes y los sistemas de monitoreo también tienen un papel relevante, permitiendo un seguimiento detallado del consumo energético [8], [11]. Por último, los actuadores realizan ajustes automáticos según las necesidades del sistema. Estos dispositivos optimizan la eficiencia energética en tiempo real mediante el monitoreo y la integración con algoritmos que detectan ineficiencias y predicen picos de demanda [3], [13], [34]-[36]. La automatización permite ajustar la iluminación, la climatización y los electrodomésticos en función de la ocupación y las condiciones ambientales [4], [18], [24], [37]-[40]. Además, la interoperabilidad con fuentes renovables, como los paneles solares, y la integración con la carga de vehículos eléctricos optimizan aún más el uso de la energía [23], [27], [28], [41]-[43]. Finalmente, las aplicaciones móviles facilitan el control remoto, generan alertas de consumo inusual y ofrecen recomendaciones para ajustar el consumo, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más informadas durante las horas pico [6]-[8], [20], [25], [29], [44]-[47].

RQ2 ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de implementar medidores de consumo de energía basados en IoT para la gestión energética en hogares inteligentes?

Los medidores inteligentes permiten un monitoreo energético en tiempo real, ajustando automáticamente el consumo para evitar desperdicios y reducir emisiones, mientras su capacidad para detectar patrones anómalos fortalece la eficiencia y previene fallos en la red [5],[44],[51],[52],[53],[54],[55]. Además, al facilitar la integración de fuentes renovables como la energía solar, disminuyen la dependencia de la infraestructura tradicional y mejoran la resiliencia del hogar [43],[21],[56],[23]. La automatización y el control inteligente optimizan el uso de sistemas HVAC y electrodomésticos en función de la ocupación y condiciones ambientales, logrando reducciones de consumo de hasta el 45% sin sacrificar el confort [57],[6],[30],[47],[58],[16],[31],[7],[59],[60]. A esto se suma el análisis de datos mediante modelos predictivos, que permite anticipar el comportamiento energético, detectar anomalías de consumo y brindar a los usuarios un mayor control sobre sus hábitos, impulsando prácticas sostenibles [37],[45],[17],[41],[61],[13],[62]. La gestión energética basada en IoT, apoyada en tecnologías inalámbricas y control remoto, contribuye a reducir costos operativos y maximizar ahorros de hasta un 75% al adaptar el consumo a la demanda real y los precios dinámicos [39],[14],[63],[11],[28],[33],[64]. Finalmente, los sistemas de gestión de edificios inteligentes (BEMS) integran estas capacidades para optimizar el uso de energías renovables, mantener condiciones óptimas en el hogar y equilibrar sostenibilidad, confort y eficiencia de manera continua [50],[65],[24].

La figura 6 destaca las principales ventajas que ofrecen los dispositivos IoT en la gestión energética de hogares inteligentes. El control aparece como el beneficio más relevante, ya que permite regular y optimizar el consumo. A continuación, la eficiencia impulsa la mejora de los procesos energéticos. La reducción contribuye a disminuir tanto el consumo como los costos, mientras que el ahorro refleja directamente el impacto económico positivo. Finalmente, el monitoreo complementa estas ventajas al proporcionar datos detallados en tiempo real.

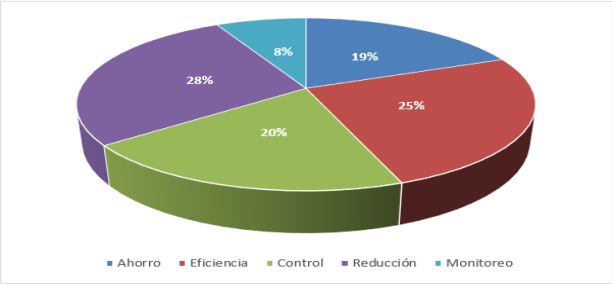

Fig. 6 Ventajas de los Dispositivos IoT

La implementación de medidores de consumo de energía basados en IoT en hogares inteligentes presenta desventajas relevantes que afectan su adopción y efectividad. Uno de los principales obstáculos es el elevado costo inicial y de mantenimiento, ya que la

instalación requiere inversiones sustanciales y los ahorros obtenidos a menudo son insuficientes para justificar el gasto en el corto plazo, extendiendo así el periodo de retorno de inversión [5],[66],[67],[8],[33],[64]. A esto se suma la falta de interoperabilidad y estandarización entre dispositivos de distintos fabricantes, lo cual limita la integración, incrementa la complejidad de instalación y restringe las opciones de expansión de los sistemas IoT [25],[14],[51],[11]. Asimismo, la dependencia crítica de una conexión a internet estable y de un suministro eléctrico continuo expone a los sistemas a interrupciones que comprometen su confiabilidad en la gestión energética [8],[39]. En materia de seguridad y privacidad, las vulnerabilidades inherentes a los dispositivos IoT aumentan el riesgo de ciberataques y filtraciones de datos, afectando la confianza del usuario en la protección de su información personal [14],[16],[68],[50]. Además, la implementación de estos sistemas exige conocimientos técnicos avanzados y una infraestructura robusta para el procesamiento y almacenamiento de datos, elevando las barreras de entrada y generando desafíos técnicos y financieros que obstaculizan su adopción masiva [57],[26],[15],[9],[31],[35]. En entornos complejos y no estacionarios, factores como la presencia de múltiples ocupantes, muros de concreto o variaciones climáticas disminuyen la precisión de monitoreo y afectan el rendimiento de sistemas basados en energías renovables, particularmente los que dependen de la radiación solar [15],[16],[65],[23]. Finalmente, integrar tecnologías IoT en infraestructuras energéticas tradicionales plantea retos de adaptación técnica y cultural, donde la falta de planificación adecuada y la resistencia al cambio comprometen tanto la escalabilidad como la confianza en la efectividad a largo plazo de estas soluciones [27],[69],[60].

La figura 7 resalta las principales desventajas de los dispositivos IoT, entre ellas el alto costo de implementación, las preocupaciones por la privacidad y la dependencia tecnológica, la precisión de los dispositivos y la necesidad de una infraestructura de red robusta. Estos desafíos evidencian la necesidad de desarrollar soluciones más accesibles y seguras.

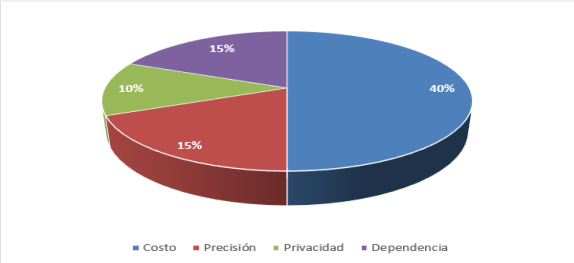

Fig. 7 Desventajas de los dispositivos IoT

RQ3 ¿Cuáles son las diferencias en eficiencia energética entre los hogares que utilizan dispositivos IoT y aquellos que emplean soluciones no estructuradas o convencionales?

Los hogares con dispositivos IoT mejoran significativamente la eficiencia energética frente a métodos tradicionales, permitiendo un control y monitoreo en tiempo real que reduce el consumo en horas pico y minimiza el desperdicio, logrando ahorros considerables [3], [18], [32], [37], [53], [60], [62]. La integración de IoT facilita el uso eficiente de energías renovables y optimiza sistemas como HVAC, ajustándolos según la ocupación [7], [13], [16], [23], [34], [46], [48], [52], [54], [55].

Estudios muestran que dispositivos IoT, como el i-HEMS, han reducido hasta un 20% el consumo energético, mejorando la experiencia del usuario mediante análisis de datos y regulación automática adaptada a patrones de uso [10], [19], [20], [30], [38], [47], [61], [63]. En edificios modernos, estos dispositivos gestionan la energía más eficientemente que los métodos tradicionales, estabilizando el sistema y controlando los picos de demanda [4], [5], [9], [42], [59]. Además, los hogares conectados optimizan el consumo y reducen costos mediante la administración remota de dispositivos [14], [27], [33], [49].

En general, el IoT asegura un uso energético más eficiente y sostenible, ajustando automáticamente los patrones de consumo y beneficiando a los usuarios y al sistema energético [7], [17], [44], [56], [66]-[68].

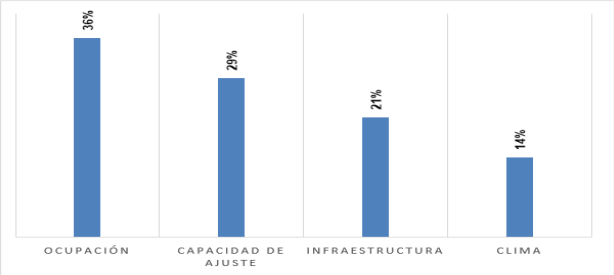

Fig. 8 Factores de Eficiencia

La figura 8 destaca los factores principales que afectan la eficiencia energética en hogares con dispositivos IoT. La ocupación del hogar resulta ser el aspecto más determinante, seguida por la capacidad de los dispositivos para ajustarse dinámicamente. La infraestructura del hogar y las condiciones climáticas también juegan un papel importante, evidenciando la necesidad de adaptación a entornos cambiantes.

En comparación con soluciones tradicionales, los dispositivos IoT sobresalen por su interoperabilidad, análisis de datos en tiempo real y automatización, lo que facilita un monitoreo adaptativo y control predictivo basado en patrones de consumo y

condiciones externas [7], [18], [32], [53], [62]. Además, gestionan dinámicamente factores como ocupación, temperatura y calidad del aire, optimizando el consumo y reduciendo costos operativos, algo que las soluciones tradicionales no logran [4], [7], [8], [23], [24], [29], [38], [41], [61], [64], [69].

El uso de algoritmos avanzados permite ajustes precisos en el consumo, mejorando el confort y la eficiencia, a diferencia de las redes convencionales, limitadas por infraestructuras obsoletas [5], [10], [27], [70]. Sin embargo, los costos iniciales elevados y la falta de conocimientos técnicos limitan la adopción de IoT, y la redundancia de sensores puede aumentar los costos si no se optimizan [14], [48], [49], [62].

El uso de inteligencia artificial y predicción de la demanda energética permite a los dispositivos IoT ajustar el consumo de manera precisa, ofreciendo ventajas que las soluciones tradicionales no pueden alcanzar [15], [17], [20], [28], [52], [55], [56], [59], [60], [71].

RQ4 ¿En qué medida los dispositivos IoT pueden contribuir a la reducción del consumo energético en hogares inteligentes?

La implementación de dispositivos IoT en hogares inteligentes ha demostrado una reducción significativa en el consumo energético al combinar tecnologías de monitoreo, control y predicción avanzada. Estudios empíricos y simulaciones reportan disminuciones de hasta un 45% en hogares que integran IoT con fuentes renovables como paneles solares, optimizando el rendimiento de sistemas HVAC y otros electrodomésticos mediante la automatización basada en demanda [57],[66],[20],[27],[28],[42],[31],[10],[30],[58],[47],[7],[51],[19]. El uso de algoritmos de aprendizaje profundo, lógica difusa y técnicas heurísticas ha permitido ajustes automáticos en patrones de consumo, alcanzando ahorros promedio de hasta un 69% [43],[60],[36]. Esta eficiencia energética no solo depende del control en tiempo real, sino también de la capacidad predictiva de los dispositivos, anticipando demandas y adaptando el uso de energía para minimizar costos y mejorar sostenibilidad [11],[40],[41],[76],[18]. En edificios comerciales y compartidos, la integración de sensores y automatización de sistemas de ventilación ha generado reducciones del 21% en el consumo, mejorando además el confort térmico [6],[38]. Tecnologías de almacenamiento de energía, combinadas con producción renovable local, han permitido que hasta el 96% de las necesidades energéticas se cubran de manera autónoma, reduciendo la dependencia de la red [21],[48],[45],[63]. Técnicas de "peak shaving" y controladores inteligentes de HVAC basados en condiciones ambientales externas maximizan aún más los ahorros energéticos, que en algunos casos varían entre un 44% y un 94%, dependiendo de la configuración de zonas [16],[34],[50],[33]. La desagregación de consumo a través de NILM y el monitoreo detallado de dispositivos han permitido ajustes proactivos en tiempos de baja demanda, logrando ahorros específicos y reducción de costos [26],[54],[13],[61]. En paralelo, algoritmos evolutivos, redes neuronales recurrentes y aprendizaje reforzado optimizan la gestión de micro-redes, el almacenamiento energético y la integración de energías renovables locales, fortaleciendo tanto la sostenibilidad como la resiliencia energética [69],[36],[32],[35]. Así, el despliegue de dispositivos IoT en hogares inteligentes no solo representa una estrategia efectiva para la reducción de consumo y costos energéticos, sino también un mecanismo adaptativo capaz de mejorar el confort, optimizar la infraestructura y disminuir el impacto ambiental de manera sostenible [15],[28],[24].

La figura 9 presenta los principales mecanismos mediante los cuales los dispositivos IoT ayudan a reducir el consumo energético en hogares inteligentes. El control, la optimización, la predicción y el monitoreo permiten gestionar eficientemente el consumo, apoyados por algoritmos, inteligencia artificial y energías renovables. Aunque la automatización es menos utilizada, también contribuye a promover hogares más sostenibles.

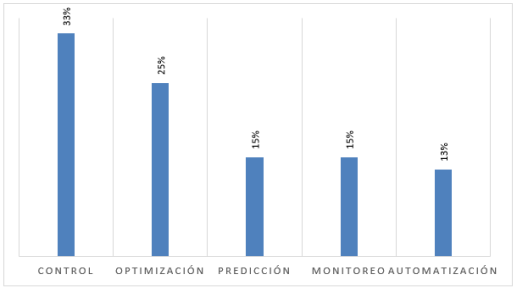

Fig. 9 Mecanismos de reducción de consumo

IV DISCUSIONES

Este artículo analiza el impacto de los dispositivos IoT en la gestión energética de hogares inteligentes. Se destacan los resultados clave, las oportunidades y los desafíos de su implementación. Se compara su efectividad con métodos tradicionales, identificando brechas tecnológicas para su adopción masiva. Además, se reflexiona sobre cómo estos avances pueden contribuir a un futuro más sostenible.

RQ1: ¿Qué dispositivos IoT son más utilizados para optimizar la gestión energética en hogares inteligentes?

Los dispositivos IoT más comunes en la gestión energética de hogares inteligentes incluyen medidores

inteligentes, sistemas NILM y sensores ambientales, que recopilan datos en tiempo real para optimizar sistemas como HVAC [19], [41]. Utilizan protocolos como Wi-Fi, ZigBee y LoRa, lo que garantiza una comunicación eficiente [8], [36]. Su popularidad se debe a su fácil implementación y optimización energética inmediata, aunque enfrentan limitaciones como la falta de interoperabilidad entre fabricantes. Comparados con tecnologías emergentes basadas en inteligencia artificial, ofrecen soluciones accesibles y efectivas, pero con menor adaptabilidad en entornos complejos y dinámicos.

RQ2: ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de implementar medidores de consumo de energía basados en IoT para la gestión energética en hogares inteligentes?

Los medidores IoT se destacan por su monitoreo en tiempo real, integración de energías renovables y automatización de ajustes según patrones de consumo, lo que mejora la eficiencia energética, reduce costos y emisiones, y aumenta el confort de los usuarios, promoviendo sostenibilidad [42]. Sin embargo, presentan desventajas como altos costos de instalación y mantenimiento, falta de estandarización y riesgos de ciberseguridad, lo que limita su adopción en regiones con recursos limitados. A pesar de ofrecer mayor precisión y adaptabilidad que las soluciones tradicionales, requieren estrategias para superar barreras económicas y técnicas [39].

RQ3: ¿Cuáles son las diferencias en eficiencia energética entre los hogares que utilizan dispositivos IoT y aquellos que emplean soluciones no estructuradas o convencionales?

Los hogares que implementan dispositivos IoT experimentan mejoras significativas en eficiencia energética, reduciendo el consumo hasta un 20% [30]. Esto se logra gracias a su capacidad para ajustar automáticamente el consumo según ocupación, clima y patrones de uso, integrar energías renovables y reducir picos de consumo. En comparación, las soluciones convencionales, que dependen de ajustes manuales y carecen de monitoreo en tiempo real, son menos efectivas en entornos con necesidades energéticas variables [3]. El IoT no solo mejora la eficiencia, sino que promueve una gestión más sostenible y adaptable del consumo.

RQ4: ¿En qué medida los dispositivos IoT pueden contribuir a la reducción del consumo energético en hogares inteligentes?

Estos dispositivos son eficaces para reducir el consumo energético en hogares inteligentes, logrando ahorros de hasta un 65% al integrarse con fuentes renovables y sistemas de control avanzados. Tecnologías como i-HEMS y sensores inteligentes ajustan el consumo según las condiciones del entorno y necesidades del usuario, mientras que algoritmos de aprendizaje automático detectan patrones y ajustan proactivamente [30], [49]. Sin embargo, su efectividad depende de factores como la infraestructura, la aceptación de usuarios y las políticas de incentivo, enfrentando barreras económicas y tecnológicas que limitan su adopción [20].

Estas tecnologías ofrecen un enfoque dinámico y eficiente en la gestión energética, destacándose por su personalización y sostenibilidad frente a métodos tradicionales. No obstante, desafíos como costos iniciales, falta de interoperabilidad y riesgos de ciberseguridad restringen su adopción masiva. Para maximizar su impacto, es esencial impulsar políticas públicas que fomenten la inversión en infraestructura, desarrollen estándares y promuevan la integración de IoT, consolidándolos como elementos clave para hogares inteligentes y sostenibles.

V CONCLUSIONES

Esta Revisión Sistemática de Literatura confirma que la adopción de dispositivos IoT en hogares inteligentes constituye una estrategia efectiva para optimizar la eficiencia energética, al permitir un monitoreo, control y gestión avanzados del consumo. La implementación de sensores, medidores inteligentes, sistemas NILM y algoritmos de aprendizaje automático facilita ajustes dinámicos basados en patrones de ocupación, condiciones ambientales y precios dinámicos de la energía, logrando reducciones de consumo que, dependiendo del contexto, oscilan entre el 20% y el 65%.

El estudio evidencia que los dispositivos IoT no solo mejoran el confort y reducen costos operativos, sino que también potencian la integración de fuentes de energía renovable, fortaleciendo la sostenibilidad de los hogares. A través de la interoperabilidad de dispositivos, la automatización de sistemas HVAC y la capacidad de predicción de la demanda energética, los hogares inteligentes superan ampliamente las capacidades de las soluciones tradicionales, basadas en ajustes manuales y estructuras rígidas.

Sin embargo, se identifican retos relevantes que limitan la adopción masiva de estas tecnologías: altos costos iniciales, falta de estandarización, riesgos de ciberseguridad y necesidad de infraestructuras de comunicación robustas. Estos desafíos, si bien importantes, también representan oportunidades para la investigación y el desarrollo futuro.

Además, la influencia positiva de los dispositivos IoT se extiende a sectores como la manufactura, la salud y los servicios, donde la gestión energética dinámica permite mejorar la eficiencia operativa sin comprometer la funcionalidad ni la calidad de los servicios.

Finalmente, esta investigación destaca la necesidad de fortalecer políticas públicas que impulsen la estandarización de protocolos, la interoperabilidad tecnológica y la protección de datos, así como fomentar la integración de inteligencia artificial y machine learning para una gestión energética más precisa y adaptativa. La combinación de estas estrategias permitirá consolidar a los hogares inteligentes como pilares fundamentales en la transición hacia ciudades más sostenibles, resilientes y energéticamente eficientes.

REFERENCIAS

[1] R. Ramadan *et al.*, "Towards energy-efficient smart homes via precise nonintrusive load disaggregation based on hybrid ANN–PSO," *Energy Sci Eng*, vol. 11, no. 7, pp. 2535–2551, 2023, doi: 10.1002/ese3.1472.

[2] J. Wang, "Optimized Mathematical Model for Energy Efficient Construction Management in Smart Cities Using Building Information Modeling," *Strategic Planning for Energy and the Environment*, vol. 41, no. 1, pp. 61–80, 2022, doi: 10.13052/spee1048-5236.4113.

[3] H. B. Ahmad, R. R. Asaad, S. M. Abdulrahma, A. A. Hani, A. B. Sallow, and S. R. M. Zeebaree, "SMART HOME ENERGY SAVING WITH BIG DATA AND MACHINE LEARNING," *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, vol. 8, no. 1, pp. 11–20, 2024, doi: 10.22437/jiituj.v8i1.32598.

[4] R. K. Vemuri, C. B. V. Durga, S. A. S. Ibrahim, N. Arumalla, S. Subramanian, and L. Bhukya, "Intelligent-of-things multiagent system for smart home energy monitoring," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 34, no. 3, pp. 1858–1867, 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v34.i3.pp1858-1867.

[5] O. Akbarzadeh *et al.*, "Heating-Cooling Monitoring and Power Consumption Forecasting Using LSTM for Energy-Efficient Smart Management of Buildings: A Computational Intelligence Solution for Smart Homes," *Tsinghua Sci Technol*, vol. 29, no. 1, pp. 143–157, 2024, doi: 10.26599/TST.2023.9010008.

[6] N. Asif, Y. L. Then, J. Ahmed, and S. Kashem, "Basic Home Automation Using Smart Sockets with Power Management," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 99–108, 2021, doi: 10.30880/ijie.2021.13.02.012.

[7] A. Ożadowicz, "Technical, Qualitative and Energy Analysis of Wireless Control Modules for Distributed Smart Home Systems," *Future Internet*, vol. 15, no. 9, 2023, doi: 10.3390/fi15090316.

[8] R. Liang, L. Zhao, and P. Wang, "Performance evaluations of lora wireless communication in building environments," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 14, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/s20143828.

[9] M. A. Abuhussain, B. S. Alotaibi, Y. A. Dodo, A. Maghrabi, and M. S. Aliero, "Multimodal Framework for Smart Building Occupancy Detection," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 10, 2024, doi: 10.3390/su16104171.

[10] I. Machorro-Cano, G. Alor-Hernández, M. A. Paredes-Valverde, L. Rodríguez-Mazahua, J. L. Sánchez-Cervantes, and J. O. Olmedo-Aguirre, "HEMS-IoT: A big data and machine learning-based smart home system for energy saving," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 5, 2020, doi: 10.3390/en13051097.

[11] E. Luján, A. Otero, S. Valenzuela, E. Mocskos, L. A. Steffenel, and S. Nesmachnow, "An integrated platform for smart energy management: The CC-SEM project," *Revista Facultad de Ingenieria*, no. 97, pp. 41–55, 2020, doi: 10.17533/UDEA.REDIN.20191147.

[12] J. A. Adebisi and L. N. P. Ndjuluwa, "A survey of power-consumption monitoring systems," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 7, 2024, doi: 10.1016/j.prime.2023.100386.

[13] R. Muñiz, R. del Coso, F. Nuño, P. J. Villegas, D. Álvarez, and J. A. Martínez, "Solar-Powered Smart Buildings: Integrated Energy Management Solution for IoT-Enabled Sustainability," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 2, 2024, doi: 10.3390/electronics13020317.

[14] Y. Dagdougui, A. Ouammi, and R. Benchrifa, "Energy management-based predictive controller for a smart building powered by renewable energy," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, 2020, doi: 10.3390/su12104264.

[15] A. A. Pathare and D. Sethi, "Development of IoT-enabled solutions for renewable energy generation and net-metering control for efficient smart home," *Discover Internet of Things*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s43926-024-00065-6.

[16] M. Uzair, S. Al-Kafrawi, K. Al-Janadi, and I. Al-Bulushi, "A Low-Cost, Real-Time Rooftop IoT-Based Photovoltaic (PV) System for Energy Management and Home Automation," *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, vol. 119, no. 1, pp. 83–101, 2022, doi: 10.32604/EE.2022.016411.

[17] G. Bianco, S. Bracco, F. Delfino, L. Gambelli, M. Robba, and M. Rossi, "A building energy management system based on an equivalent electric circuit model," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 7, 2020, doi: 10.3390/en13071689.

[18] L. Mendoza-Pitti, H. Calderon-Gomez, M. Vargas-Lombardo, J. M. Gomez-Pulido, and J. L. Castillo-Sequera, "Towards a Service-Oriented Architecture for the Energy Efficiency of Buildings: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 26119–26137, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3057543.

[19] M. A. A. Rehmani *et al.*, "Power profile and thresholding assisted multi-label NILM classification," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 22, 2021, doi: 10.3390/en14227609.

[20] M. Sari *et al.*, "MACHINE LEARNING-BASED ENERGY USE PREDICTION FOR THE SMART BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 28, pp. 622–645, 2023, doi: 10.36680/j.itcon.2023.033.

[21] Y. Fathy, M. Jaber, and Z. Nadeem, "Digital twin-driven decision making and planning for energy consumption," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.3390/JSAN10020037.

[22] A. S. Shah, H. Nasir, M. Fayaz, A. Lajis, I. Ullah, and A. Shah, "Dynamic user preference parameters selection and energy consumption optimization for smart homes using deep extreme learning machine and bat algorithm," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 204744–204762, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037081.

[23] K. G *et al.*, "Smart energy management: real-time prediction and optimization for IoT-enabled smart homes," *Cogent Eng*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1080/23311916.2024.2390674.

[24] R. S. Broujeny, K. Madani, A. Chebira, V. Amarger, and L. Hurtard, "Data-driven living spaces' heating dynamics modeling in smart buildings using machine learning-based identification," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 4, 2020, doi: 10.3390/s20041071.

[25] H.-M. Chu, C.-T. Lee, L.-B. Chen, and Y.-Y. Lee, "An expandable modular internet of things (Iot)-based temperature control power extender," *Electronics*

(Switzerland), vol. 10, no. 5, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/electronics10050565.

[26] J. A. Jornet-Monteverde and J. J. Galiana-Merino, "Low-cost conversion of single-zone hvac systems to multi-zone control systems using low-power wireless sensor networks," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 13, 2020, doi: 10.3390/s20133611.

[27] A. Farhana, N. Satheesh, M. Ramya, J. V. N. Ramesh, and Y. A. B. El-Ebiary, "Efficient Deep Reinforcement Learning for Smart Buildings: Integrating Energy Storage Systems Through Advanced Energy Management Strategies," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, no. 12, pp. 548–559, 2023, doi: 10.14569/IJACSA.2023.0141257.

[28] A. Zouhri, A. EZ-Zahout, S. Chakouk, and M. E. Mallahi, "A Numerical Analysis Based Internet of Things (IoT) and Big Data Analytics to Minimize Energy Consumption in Smart Buildings," *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 46–56, 2024, doi: 10.14313/jamris/2-2024/12.

[29] D. Li, "Analysis on the monitoring system of energy conservation and comfort in office buildings based on internet of things," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 15, no. 3, pp. 351–355, 2020, doi: 10.1093/IJLCT/CTZ083.

[30] B. Park, S.-H. Kwon, and B. Oh, "Standby Power Reduction of Home Appliance by the i-HEMS System Using Supervised Learning Techniques," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 10, 2024, doi: 10.3390/en17102404.

[31] N. Fatehi and M. H. Nazari, "Multi-Layer Model Predictive Optimization of Energy Efficient Building Microgrids," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 13037–13045, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3355314.

[32] A. Bajahzar, "The Importance of AI-Enabled Internet of everything Services for Smart Home Management," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.2478/ijssis-2024-0026.

[33] Y. Natarajan *et al.*, "Enhancing Building Energy Efficiency with IoT-Driven Hybrid Deep Learning Models for Accurate Energy Consumption Prediction," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 5, 2024, doi: 10.3390/su16051925.

[34] A. Franco, E. Crisostomi, S. Dalmiani, and R. Poletti, "Synergy in Action: Integrating Environmental Monitoring, Energy Efficiency, and IoT for Safer Shared Buildings," *Buildings*, vol. 14, no. 4, 2024, doi: 10.3390/buildings14041077.

[35] M. A. Alduailij, I. Petri, O. Rana, M. A. Alduailij, and A. S. Aldawood, "Forecasting peak energy demand for smart buildings," *Journal of Supercomputing*, vol. 77, no. 6, pp. 6356–6380, 2021, doi: 10.1007/s11227-020-03540-3.

[36] A. Ntafalias *et al.*, "Design and Implementation of an Interoperable Architecture for Integrating Building Legacy Systems into Scalable Energy Management Systems," *Smart Cities*, vol. 5, no. 4, pp. 1421–1440, 2022, doi: 10.3390/smartcities5040073.

[37] N. H. Motlagh, A. Khatibi, and A. Aslani, "Toward sustainable energy-independent buildings using internet of things," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 22, 2020, doi: 10.3390/en13225954.

[38] E. A. Affum, K. A.-P. Agyekum, C. A. Gyampomah, K. Ntiamoah-Sarpong, and J. D. Gadze, "Smart Home Energy Management System based on the Internet of Things (IoT)," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 2, pp. 722–730, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120290.

[39] T. Le, M. T. Vo, T. Kieu, E. Hwang, S. Rho, and S. W. Baik, "Multiple electric energy consumption forecasting using a cluster-based strategy for transfer learning in smart building," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 9, 2020, doi: 10.3390/s20092668.

[40] S. Rastegarpour and L. Ferrarini, "Energy Management in Buildings: Lessons Learnt for Modeling and Advanced Control Design," *Front Energy Res*, vol. 10, 2022, doi: 10.3389/fenrg.2022.899866.

[41] H. Talei, D. Benhaddou, C. Gamarra, H. Benbrahim, and M. Essaaidi, "Smart building energy inefficiencies detection through time series analysis and unsupervised machine learning," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 19, 2021, doi: 10.3390/en14196042.

[42] Y. Chemingui, A. Gastli, and O. Ellabban, "Reinforcement learning-based school energy management system," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 23, 2020, doi: 10.3390/en13236354.

[43] G. Sun, "Optimizing power system efficiency and costs in smart buildings with renewable resources," *Ain Shams Engineering Journal*, 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.103014.

[44] C. K. Metallidou, K. E. Psannis, and E. A. Egyptiadou, "Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 63679–63699, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984461.

[45] D. Sharma, J. Rehu, K. Känsälä, and H. Ailisto, "An automatic aggregator of power flexibility in smart buildings using software based orchestration," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 3, pp. 1–18, 2021, doi: 10.3390/s21030867.

[46] M. Seraj, M. Parvez, O. Khan, and Z. Yahya, "Optimizing smart building energy management systems through industry 4.0: A response surface methodology approach," *Green Technologies and Sustainability*, vol. 2, no. 2, 2024, doi: 10.1016/j.grets.2024.100079.

[47] D. Ibaseta *et al.*, "Monitoring and control of energy consumption in buildings using WoT: A novel approach for smart retrofit," *Sustain Cities Soc*, vol. 65, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102637.

[48] A. Y. Nageye, A. D. Jimale, M. O. Abdullahi, Y. A. Ahmed, and B. S. A. Jama, "Enhancing Energy Efficiency in Mogadishu: IoT-Based Buildings Energy Management System," *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 10, no. 10, pp. 54–60, 2023, doi: 10.14445/23488379/IJEEE-V10I10P106.

[49] G. Hafeez *et al.*, "Efficient energy management of IoT-enabled smart homes under price-based demand response program in smart grid," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 11, 2020, doi: 10.3390/s20113155.

[50] U. Konbr and E. Maher, "Boosting sustainability in egypt by developing initiatives to promote smart energy systems," *WSEAS Transactions on Environment and Development*, vol. 17, pp. 89–109, 2021, doi: 10.37394/232015.2021.17.10.

[51] S. Sepasgozar *et al.*, "A systematic content review of artificial intelligence and the internet of things applications in smart home," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/app10093074.

[52] A. Rochd *et al.*, "Design and implementation of an AI-based & IoT-enabled Home Energy Management System: A case study in Benguerir — Morocco," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 699–719, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.084.

[53] M. Khan, J. Seo, and D. Kim, "Towards energy efficient home automation: A deep learning approach," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 24, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/s20247187.

[54] A. Franco, C. Bartoli, P. Conti, L. Miserocchi, and D. Testi, "Multi-objective optimization of hvac operation for balancing energy use and occupant comfort in educational buildings," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 10, 2021, doi: 10.3390/en14102847.

[55] R. Liang, Y. Xing, and L. Hu, "Enhancing Energy Efficiency by Improving Internet of Things Devices Security in Intelligent Buildings via Niche Genetic Algorithm-Based Control Technology," *Applied Sciences*

(Switzerland), vol. 13, no. 19, 2023, doi: 10.3390/app131910717.

[56] M. M. Talib and M. S. Croock, "AI-Enhanced Power Management System for Buildings: A Review and Suggestions," *Journal Europeen des Systemes Automatises*, vol. 56, no. 3, pp. 383–391, 2023, doi: 10.18280/jesa.560304.

[57] J. M. Z. Hoque, G. R. Murthy, J. Hossen, J. Ganesan, A. A. Aziz, and C. M. T. Khan, "Anomalies detection for smart-home energy forecasting using moving average," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 6, pp. 5808–5820, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i6.pp5808-5820.

[58] B. Galeb, H. Saad, H. Bashar, K. Al-Majdi, and A. Al-Hilali, "ANOMALY DETECTION IN SMART HOME ELECTRICAL APPLIANCES USING MACHINE LEARNING WITH STATISTICAL ALGORITHMS AND OPTIMIZED TIME SERIES ALGORITHMS," *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, vol. 19, no. 5, pp. 116–135, 2024, doi: 10.26782/jmcms.2024.05.00008.

[59] S. Park, "Machine Learning-Based Cost-Effective Smart Home Data Analysis and Forecasting for Energy Saving †," *Buildings*, vol. 13, no. 9, 2023, doi: 10.3390/buildings13092397.

[60] J. Oh, "IoT-based smart plug for residential energy conservation: An empirical study based on 15 months' monitoring," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 15, 2020, doi: 10.3390/en13154035.

[61] I. Akhtar, S. Kirmani, M. Suhail, and M. Jameel, "Advanced Fuzzy-Based Smart Energy Auditing Scheme for Smart Building Environment with Solar Integrated Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 97718–97728, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3095413.

[62] P. Pandiyan, S. Saravanan, K. Usha, R. Kannadasan, M. H. Alsharif, and M.-K. Kim, "Technological advancements toward smart energy management in smart cities," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 648–677, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.07.021.

[63] Y. Wang and L. Liu, "Research on sustainable green building space design model integrating IoT technology," *PLoS One*, vol. 19, no. 4 April, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0298982.

[64] N. Naji, M. R. Abid, D. Benhaddou, and N. Krami, "Context-aware wireless sensor networks for smart building energy management system," *Information (Switzerland)*, vol. 11, no. 11, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/info11110530.

[65] M. Al-Saffar and M. Gul, "Data-Efficient MADDPG Based on Self-Attention for IoT Energy Management Systems," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 109379–109389, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3322193.

[66] G. La Tona, M. Luna, and M. C. Di Piazza, "Day-ahead forecasting of residential electric power consumption for energy management using Long Short-Term Memory encoder–decoder model," *Math Comput Simul*, vol. 224, pp. 63–75, 2024, doi: 10.1016/j.matcom.2023.06.017.

[67] L. Mendoza-Pitti, H. Calderon-Gomez, M. Vargas-Lombardo, J. M. Gomez-Pulido, and J. L. Castillo-Sequera, "Towards a Service-Oriented Architecture for the Energy Efficiency of Buildings: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 26119–26137, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3057543.

[68] N. H. Motlagh, A. Khatibi, and A. Aslani, "Toward sustainable energy-independent buildings using internet of things," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 22, 2020, doi: 10.3390/en13225954.

[69] A. Korpela *et al.*, "Computational model to estimate new energy solutions in existing buildings," *Energy Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 753–766, 2024, doi: 10.1007/s12667-022-00557-w.

[70] F. Wahid, M. Fayaz, A. Aljarbouh, M. Mir, M. Aamir, and Imran, "Energy consumption optimization and user comfort maximization in smart buildings using a hybrid of the firefly and genetic algorithms," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 17, 2020, doi: 10.3390/en13174363.

[71] M. M. Talib and M. S. Croock, "Optimizing Energy Consumption in Buildings: Intelligent Power Management Through Machine Learning," *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 11, no. 3, pp. 765–772, 2024, doi: 10.18280/mmep.110321.

[72] A. Nazari, F. Tavassolian, M. Abbasi, R. Mohammadi, and P. Yaryab, "An Intelligent SDN-Based Clustering Approach for Optimizing IoT Power Consumption in Smart Homes," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/8783380.