

**Domótica para la gestión de la Energía Eléctrica en vivienda:
“estado del arte de los últimos 15 años”.**

Juan Camilo Velez Celeita

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico.

Director

John Leonardo Quiroga Pinedo

M.Sc. ingeniería electrónica

Codirector

Carlos Daniel Pimentel Díaz

M.Sc. en inteligencia artificial

Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga

División De Ingeniería Y Arquitectura

Ingeniería Mecatrónica

2024

Dedicatoria

Para mis padres, para mi familia, para quienes me brindaron su mano y palabras de aliento con amabilidad, respeto y agrado. Para todo el que aportó una experiencia o una enseñanza y poderme convertir en esta versión de mí. Porque probablemente sin esa experiencia (buena o mala) no sería quien soy hoy en día.

Siempre con amor, dedicación y respeto.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios y a todas las personas que han hecho posible que llegue hasta aquí. A mis padres, que me dieron la vida y me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi familia, que siempre me ha apoyado y me ha brindado su amor incondicional. A mis profesores, que me han guiado y me han transmitido su sabiduría y su pasión. A mis amigos, que han compartido conmigo momentos inolvidables, por su compañía. Y a todos aquellos que han creído en mí y me han animado a seguir adelante.

Pero también quiero agradecerme a mí mismo, por no dejar de creer en mis sueños de niño, por luchar contra las adversidades con coraje y determinación, por superar mis miedos y mis dudas, por aprender de mis errores y mis fracasos, y por celebrar mis logros y mis éxitos.

Gracias, gracias, gracias.

Contenido

1. Introducción.....	10
2. Estado del arte.....	11
1.1 Concepto Claves para el estado del arte.....	11
Figura	12
3. Metodología	14
3.1 Identificación.....	14
3.2 Análisis.....	15
3.3 Síntesis	15
4. Resultados y discusión.....	15
4.1 Identificación.....	16
4.2 Análisis.....	19
4.2.1 Primer periodo	19
4.2.2 Segundo periodo	25
4.2.3 Tercer periodo.....	30
5. Formalización y elaboración (tendencias identificadas).....	35
5.1 Primer periodo	35
5.2 Segundo periodo.....	36
5.3 Tercer periodo	37
6. Resultados de la investigación	38
6.1 Primer Periodo.....	38
6.2 Segundo Periodo	39
6.3 Tercer Periodo	39

7. Conclusiones	39
Referencias.....	41
Apéndices.....	48

Lista de figuras

Figura 1. <i>Esquema del funcionamiento del IoT en el hogar inteligente [9]</i>	12
--	----

Lista de apéndices

Apéndice A. *Análisis principales plataformas Cloud para IoT*..... 48

Apéndice B. *Análisis principales protocolos de comunicación para IoT*..... 49

Resumen

El presente trabajo busca proveer un estado del arte de los últimos 15 años sobre las aplicaciones para el control y automatización de entornos residenciales (domótica) aplicada a la gestión de la energía eléctrica en viviendas. Ilustrando el panorama respecto a las oportunidades que ofrecen estas tecnologías para mejorar el uso energético sin afectar a la cotidianidad de los usuarios. La domótica posee una gran área de estudio respecto a la Interacción Hombre-Maquina (HMI – Por sus siglas en ingles). Lo que permite tener un abordaje especial en las soluciones basadas en el internet de las cosas (IoT). El objetivo es encontrar e identificar las estrategias, tecnologías y soluciones más utilizadas para optimizar el consumo y el ahorro de energía en hogares inteligente. Para lograrlo, se realizó una búsqueda orientada mediante el uso de ecuaciones de búsqueda en bases de datos como IEEE, Lean.org y ScienceDirect. La literatura relevante para esta investigación se clasificó y seleccionó usando como criterio de claridad de la información. Teniendo en cuenta aspectos como la presencia de características de las tecnologías usadas, ventajas y desafíos de estas, y resultados obtenidos en la mejora del consumo energético. Por último, Aunque la domótica ha proporcionado tecnologías, infraestructuras y estándares ampliamente utilizados que aportan beneficios para la gestión de la energía en el hogar como control remoto, monitorización en tiempo real e integración con fuentes de energía renovable, se concluye que existen retos como la seguridad, la privacidad y la estandarización.

Palabras clave: Automatización, Eficiencia energética, Internet de las cosas (IoT), Revisión sistemática.

Abstract

The present work aims to provide a state-of-the-art review of the last 15 years on applications for the control and automation of residential environments (home automation) applied to the management of electrical energy in households. Illustrating the landscape regarding the opportunities these technologies offer to improve energy use without affecting the users' daily lives. Home automation has a vast area of study concerning Human-Machine Interaction (HMI). This allows for a special approach to solutions based on the Internet of Things (IoT). The objective is to find and identify the strategies, technologies, and solutions most commonly used to optimize consumption and energy savings in smart homes. To achieve this, a focused search was conducted using search equations in databases such as IEEE, Lean.org, and ScienceDirect. The most relevant literature for this research was classified and selected based on the clarity of information, considering aspects such as the presence of features of the technologies used, advantages and challenges, and results obtained in improving energy consumption. Finally, although home automation has provided widely used technologies, infrastructures, and standards that bring benefits to home energy management, such as remote control, real-time monitoring, and integration with renewable energy sources, it is concluded that challenges such as security, privacy, and standardization still exist.

Keywords: Automation, Energy efficiency, Internet of things (IoT), Systematic review.

1. Introducción

Debido al constante aumento de los precios de la energía eléctrica en los últimos años [1], los fenómenos naturales que afectan la generación de esta [2], y el aumento del consumo energético en los hogares llegando a abarcar cerca del 40% del sector de generación energética [3]. Ha generado que en la actualidad se precisen de sistemas eficientes energéticamente [4]. Entre estos, La domótica se ha presentado como una herramienta promisorio [3] para mejorar el consumo energético en ambientes residenciales. Estas tecnologías permiten gestionar los diferentes dispositivos usados en los ambientes residenciales de manera eficiente, cómoda, segura y económica en las casas y edificios de los usuarios finales [5].

Las residencias inteligentes o Smart Home que se engloban dentro de las tecnología y técnicas propias de la domótica [6] mejoran la eficiencia energética al integrar la automatización y monitoreo de los sistemas de iluminación, seguridad, la comunicación y la inteligencia artificial, entre otros. Esto se traduce en ahorros de consumo energético sin afectar las comodidades de los usuarios [7].

En este artículo, se realiza una revisión del estado del arte de los últimos 15 años en el campo de la domótica aplicada a la gestión de la energía en viviendas. Mediante la exploración de las tendencias, los avances tecnológicos y los resultados clave que han contribuido a optimizar el consumo energético, a reducir costos y a aumentar la sostenibilidad. Como principal meta se buscó comprender el panorama actual y potenciar las oportunidades futuras para una gestión energética más inteligente y responsable con el ambiente.

Este documento se divide en 5 secciones, incluyendo esta introducción. A continuación, se encontrarán conceptos relevantes para el estado del arte, metodología, resultado y discusión donde

se expondrá un análisis de la información encontrada y las conclusiones, donde también se expondrá trabajos y mejoras futuras.

2. Estado del arte

En esta sección se presentan los conceptos clave relacionados con la domótica para gestión de la energía en una vivienda. Que serán relevantes para el desarrollo de la metodología y las secciones subsecuentes

1.1 Concepto Claves para el estado del arte

El internet de las cosas (IoT) es un concepto que comprende una red de dispositivos conectados a internet para proporcionar a los usuarios algún tipo de servicio de monitoreo y control. También, se puede entender IoT como un paradigma que busca conectar diversos objetos cotidianos a Internet, dotándolos de capacidades de comunicación, procesamiento y medición del entorno (Sensores) [8, 9].

El IoT permite recopilar y transmitir información sobre el estado y el funcionamiento de los dispositivos y sistemas eléctricos del hogar, así como controlarlos de forma remota o automática según las preferencias del usuario o las condiciones ambientales [8-10]. Para esto, los dispositivos poseen módulos que procesan y analizan la información. Información que luego será transmitida y compartida con aplicaciones. Dando lugar a los hogares inteligentes. Donde la vigilancia y administración del entorno monitoreado permiten optimizar la gestión de la eficiente energética [7], al automatizar servicios, actividades y tareas gracias a la aplicación de sistema de monitoreo y control [11].

De este modo, se llega al asunto de la gestión de la energía eléctrica y, con ello, al interés por el concepto de eficiencia energética. Así, la gestión de la energía se entiende como el conjunto

de acciones que se planean y se ejecutan para optimizar el consumo de dicha energía en un determinado espacio o actividad [10]. Este concepto ha comenzado a comercializarse en el ámbito doméstico y también allí implica el uso eficiente de los recursos energéticos disponibles, la integración con fuentes de energía renovable y la reducción del impacto ambiental [12]. Por tanto, un hogar inteligente es aquel que integra diferentes tecnologías dedicadas a controlar los sistemas de seguridad, comunicación, energía, etc. A fin de automatizar tareas cotidianas a través de sensores IoT [13].

Como se observa en la figura 1. Las aplicaciones de la domótica en las Smart House buscan mejorar la gestión de los recursos y la interacción con los usuarios a través de interfaces sencillas e interconexión con el internet. Todo este conjunto de cosas permite una mejor interoperabilidad de los diferentes sensores y actuadores en los hogares [14].

Figura 1. Esquema del funcionamiento del IoT en el hogar inteligente [9].



Tomado de [56].

A pesar de los grandes beneficios y ventajas que ofrecen las tecnologías relacionadas con la domótica. Se enfrentan grandes retos como la seguridad, la privacidad, la accesibilidad, la

interoperabilidad y la estandarización [15]. A continuación, se dará la definición de estos conceptos que son claves para entender esta revisión bibliográfica.

1. Seguridad: Los dispositivos IoT pueden ser vulnerables a varios tipos de ataques de seguridad. Por ejemplo, los datos privados de los usuarios pueden ser accedidos al tomar el control de los dispositivos de vigilancia o activar falsas alarmas de incendio [16]. Además, muchos dispositivos comerciales disponibles, como el sensor de movimiento Belkin WeMo, las alarmas de humo Nest y el analizador corporal inteligente Withings, carecen de características de seguridad para proteger el dispositivo contra usuarios malintencionados [17].
2. Privacidad: Los sensores utilizados en abundancia tienen mucha información personal que un atacante puede utilizar para rastrear². Estos problemas seguirán persistiendo y demandarán atención y conciencia por parte de los innovadores tecnológicos y los consumidores [8][10].
3. Interoperabilidad: La interoperabilidad se refiere a la capacidad de los dispositivos y sistemas para trabajar juntos, lo cual puede ser un desafío en el entorno del hogar inteligente debido a la variedad de estándares y protocolos utilizados [8][9].
4. Estandarización: La falta de estándares uniformes puede dificultar la integración y compatibilidad de diferentes dispositivos y sistemas IoT [8][9].
5. Mejora de la seguridad y la comodidad: Los sistemas de domótica pueden mejorar la seguridad y la comodidad en el hogar al permitir el control remoto y la monitorización en tiempo real de los dispositivos y sistemas eléctricos del hogar [10][12].

6. Uso eficiente de los recursos energéticos: Los propietarios pueden reducir significativamente su consumo de energía y contribuir a un futuro más sostenible incorporando dispositivos inteligentes y sistemas de automatización [15].

7. Integración con fuentes de energía renovable: La domótica permite una mejor integración con fuentes de energía renovable, lo que puede mejorar aún más la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental [18].

3. Metodología

Para esta investigación se seleccionó la metodología documental (Reyes-Ruiz, et al., 2020). La cual, es una técnica de recolecta cualitativa con la que se recolecta y selecciona información a partir de documentos, revistas, artículos de investigaciones, memorias de eventos, entre otros. Siendo una investigación bibliográfica, que utiliza los datos secundarios como fuente de información [19]. Se optó por esta metodología ya que se alinea con el objetivo principal de este trabajo que es sintetizar información relevante sobre la “Domótica para la gestión de la energía eléctrica en vivienda” a partir del diseño de ecuaciones de búsqueda. Con el fin de identificar patrones, ventajas, desventajas y relaciones entre un documento científico u otro. Se indaga por documentos que tengan máximo 15 años de antigüedad.

Esta metodología, permite identificar tendencias, vacíos, fortalezas y debilidades en la producción existente sobre la temática aquí tratada, así como generar nuevas líneas de investigación y preguntas de investigación. El proceso utilizado para el desarrollo de este estado del arte consta de tres fases que se describen a continuación:

3.1 Identificación

En esta fase se definió el tema, el objetivo, las preguntas y los criterios de búsqueda. El tema se delimitó a la automatización de una casa para la gestión de la energía eléctrica aplicando

tecnologías IoT. El objetivo general es realizar un estado del arte sobre este tema. Para delimitar el problema, se tuvieron en cuenta las siguientes preguntas orientadoras:

- 1. ¿Qué estrategias se han aplicado para gestionar la energía eléctrica?*
- 2. ¿Qué desempeño han tenido las estrategias de gestión de la energía?*
- 3. ¿Qué tecnologías de comunicación se han planteado entre el web Server y los elementos actuadores y sensores?*
- 4. ¿Cuál es la plataforma IoT es más usada para domótica y por qué?*
- 5. ¿Cuáles son las soluciones comerciales?*

Los términos clave identificados y descritos en la sección anterior se combinaron con el fin de elaborar 10 ecuaciones de búsqueda que se presentan en la sección Resultados y Discusiones. Para realizar la búsqueda se seleccionaron cuatro bases de datos: IEEE, SCOPUS, ScienceDirect y SPRINGER. Una vez obtenidos los resultados de búsqueda en cada una de ellas, se filtraron por pertinencia y antigüedad.

3.2 Análisis

En esta fase a partir de la información recopilada con las ecuaciones determinadas en la identificación, se realizó el análisis y la interpretación de la bibliografía seleccionada.

3.3 Síntesis

Finalmente, con la información registrada en la matriz (Tabla 1 y 2 de la sección anexos), se identificaron las tendencias y los resultados de investigación.

4. Resultados y discusión

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos y se discuten los hallazgos del estado del arte sobre domótica para la gestión de la energía eléctrica basada en IoT.

4.1 Identificación

Ecuaciones de búsqueda: Para esto se utilizaron las palabras clave del tema junto a los operadores lógicos AND, OR y NOT, que formaron las frases que se buscaron en las bases de datos. Las ecuaciones de búsqueda definidas fueron las siguientes:

1. "domótica" AND "gestión de la energía" AND "IoT" AND "estado del arte" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008). Esta ecuación de búsqueda selecciona artículos que contengan los términos "domótica", "gestión de la energía", "IoT" y "estado del arte". Además, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

2. "domótica" AND "gestión de energía" AND "vivienda" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda selecciona artículos que contengan los términos "domótica", "gestión de energía" y "vivienda". Al igual que la anterior, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

3. "domótica" OR "automatización del hogar") AND "gestión de energía" AND "hogar" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda muestra artículos que contienen los términos "domótica" o "automatización del hogar", junto con "gestión de energía" y "hogar". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

4. ("domótica" OR "sistemas inteligentes") AND "gestión de energía" AND "consumo energético" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008). Esta ecuación de búsqueda artículos que contienen los términos "domótica" o "sistemas inteligentes", junto con "gestión de energía" y "consumo energético". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

5. "domótica" OR "energía renovable") AND "gestión de energía" AND "casa inteligente" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda selecciona artículos que contengan los términos "domótica" o "energía renovable", junto con "gestión de energía" y "casa inteligente". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

6. "domótica" OR "tecnología inteligente") AND "ahorro energético" AND "residencia" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda busca artículos que contengan los términos "domótica" o "tecnología inteligente", junto con "ahorro energético" y "residencia". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

7. "domótica" OR "control energético") AND "eficiencia en el hogar" AND "automatización residencial" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda busca artículos que contengan los términos "domótica" o "control energético", junto con "eficiencia en el hogar" y "automatización residencial". Al igual que las

anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

8. "domótica" OR "monitorización de energía") AND "automatización residencial" AND "ahorro" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda busca artículos que contengan los términos "domótica" o "monitorización de energía", junto con "automatización residencial" y "ahorro". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

9. "domótica" OR "tecnología inalámbrica") AND "eficiencia energética" AND "hogar inteligente" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda busca artículos que contengan los términos "domótica" o "tecnología inalámbrica", junto con "eficiencia energética" y "hogar inteligente". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

10. "domótica" OR "optimización energética") AND "vivienda sostenible" AND "automatización" AND (2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013 OR 2012 OR 2011 OR 2010 OR 2009 OR 2008) Esta ecuación de búsqueda busca artículos que contengan los términos "domótica" o "optimización energética", junto con "vivienda sostenible" y "automatización". Al igual que las anteriores, se incluye una cláusula para buscar artículos publicados en cualquiera de los años desde 2008 hasta 2023.

4.2 Análisis

Se dividió el periodo de 15 años en tres partes iguales para gestionar la información recolectada. El primer periodo abarca de 2008 a 2012, el segundo va de 2013 a 2017, y finalmente el tercero comprende el 2018 a 2023.

4.2.1 *Primer periodo*

En este primer periodo encontramos los siguientes artículos:

1. Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia.[20]
2. Tecnología domótica para el control de una vivienda. Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Cartagena. [21]
3. Interoperabilidad en Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee. [22]
4. Domótica para ahorrar energía. [23]
5. La domótica y el ahorro de energía. [24]
6. La domótica como herramienta para un mejor confort, seguridad y ahorro energético. [25]

Se hizo un análisis considerando las preguntas orientadoras, obtenidos los siguientes resultados:

1. ¿Qué estrategias se han aplicado para gestionar la energía eléctrica?

Dentro de los artículos revisados se encontraron diferentes aplicaciones y formas de implementación de la domótica. A continuación, se describen los mismos. El primer sistema encontrado aplica un controlador de bajo costo que permite regular el consumo de energía eléctrica en una vivienda mediante el uso de sensores y actuadores conectados a una placa Arduino. En esta investigación utilizan un teléfono móvil o una computadora para controlar y visualizar el consumo en tiempo real. También permite la integración con paneles solares [20]. En [21] el cual es una

tesis desarrollan, diseñan e implementan un sistema domótico para gestionar la iluminación, las persianas, el riego, la climatización y el sistema de seguridad de una vivienda utilizando el protocolo KNX. Además, se realizó la integración con una pantalla táctil o un dispositivo móvil. También se incorpora un módulo de ahorro energético que regula el consumo según las condiciones ambientales y los hábitos de los usuarios. Seguidamente, El artículo [21] propone una solución para lograr la interoperabilidad entre distintos sistemas domóticos mediante una pasarela infrarrojos-ZigBee. La pasarela permite comunicar dispositivos que utilizan infrarrojos (como mandos a distancia o televisores) con dispositivos que utilizan ZigBee (como sensores o bombillas inteligentes). La pasarela también permite controlar los dispositivos desde una aplicación web o un teléfono móvil.

El autor del artículo [23] explica que la domótica aporta al ahorro de energía en diferentes aspectos como la iluminación, la climatización, el agua caliente o los electrodomésticos. Presentando consejos prácticos para seleccionar e instalar los sistemas domóticos más adecuados según las características y necesidades de cada vivienda. En [24] también se muestran ejemplos de cómo la domótica contribuye al ahorro de energía en distintos tipos de edificios como oficinas, hoteles, colegios o hospitales, destacando los beneficios económicos, ambientales y sociales que supone su implementación.

Finalmente, [25] es un estudio explicativo, donde se brindan estrategia para generar confort, ahorro energético y seguridad en las viviendas del futuro, donde se pueden plantear aspectos que harán de los hogares, un espacio adaptable a las necesidades del futuro. Esta investigación contribuye a la comprensión del funcionamiento de estas viviendas inteligentes en Venezuela, donde los elementos del ahorro de energía, seguridad y estancia cómoda se integran para brindar confort a los usuarios de las Smart Houses.

2. ¿Qué desempeño han tenido las estrategias de gestión de la energía?

En la revisión realizada, el desempeño se ha medido con respecto a 3 características: Ahorro de energía, eficiencia energética y calidad del servicio.

El ahorro de energía: se refiere a la reducción del consumo de energía eléctrica en comparación con un escenario sin domótica o con una domótica menos eficiente. En [20] se reporta que el sistema de control domótico de bajo costo ahorra hasta un 30% de energía en una vivienda. El cuarto artículo [23] estima que la domótica ahorró entre un 10% y un 40% de energía en una vivienda, dependiendo del tipo y uso de los dispositivos. El quinto artículo [24] indica que la domótica puede ahorrar hasta un 60% de energía en edificios profesionales, lo que se traduce en una reducción de las emisiones de CO₂ y de los costes operativos.

Eficiencia energética: Es el aprovechamiento óptimo de la energía eléctrica, es decir, el consumo mínimo necesario para obtener el máximo rendimiento. En [21] explican que el sistema domótico para el control del clima en una vivienda puede mejorar la eficiencia energética al adaptar la temperatura y la humedad según las condiciones ambientales y las preferencias de los usuarios. Seguidamente en [22] concluyen que el sistema domótico interoperable puede mejorar la eficiencia energética al permitir el control integrado y coordinado de los dispositivos eléctricos. Por último [24] resalta que la domótica puede mejorar la eficiencia eléctrica al optimizar el uso de los recursos naturales como la luz solar o el agua.

La calidad del servicio: se refiere al grado de satisfacción y comodidad que experimentan los usuarios al utilizar los sistemas domóticos. En [20] se afirma que el sistema de control domótico de bajo costo ofrece una buena calidad del servicio al permitir a los usuarios controlar y monitorizar el consumo de energía desde sus dispositivos móviles o computadoras. El segundo

artículo [21] asegura que el sistema domótico para el control del clima en una vivienda ofrece una buena calidad del servicio al crear un ambiente confortable y saludable para los usuarios. El tercer artículo [22] sostiene que el sistema domótico interoperable ofrece una buena calidad del servicio al facilitar la comunicación y el manejo de los dispositivos eléctricos.

3. ¿Qué tecnologías de comunicación se han planteado entre el web Server y los elementos actuadores y sensores?

Bluetooth: es una tecnología inalámbrica de corto alcance que permite la transmisión de datos entre dispositivos. Por ejemplo, el primer artículo [21] utiliza Bluetooth para comunicar el web server con la placa Arduino que controla los sensores y actuadores. El web server se puede acceder desde un teléfono móvil o una computadora mediante una aplicación web.

KNX: es un estándar de comunicación para la domótica que permite la interconexión de dispositivos mediante un cableado común o una red inalámbrica. Por ejemplo, el segundo artículo [8] utiliza KNX para comunicar el web server con los dispositivos domóticos que controlan el clima en una vivienda. El web server se puede acceder desde una pantalla táctil o un teléfono móvil mediante una aplicación web.

ZigBee: es una tecnología inalámbrica de bajo consumo y largo alcance que permite la creación de redes de sensores y actuadores. Por ejemplo, el tercer artículo [22] utiliza ZigBee para comunicar el web server con los dispositivos domóticos que usan este protocolo. El web server se puede acceder desde una aplicación web o un teléfono móvil.

Infrarrojos: es una tecnología inalámbrica que utiliza ondas electromagnéticas para transmitir datos entre dispositivos. Por ejemplo, el tercer artículo [22] también utiliza infrarrojos para comunicar el web server con los dispositivos domóticos que usan este protocolo, como

mandos a distancia o televisores. El web server se comunica con una pasarela infrarrojos-ZigBee que permite la interoperabilidad entre los dispositivos.

Internet: es una red global de comunicación que permite el acceso a información y servicios desde cualquier lugar. Por ejemplo, el cuarto [23] y quinto [24] artículo, utilizan internet para comunicar el web server con los sistemas domóticos que ofrecen consejos e información sobre cómo ahorrar energía. El web server se puede acceder desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Las herramientas que generan sinergia entre los servidores remotos y los actuadores físicos les permiten a los usuarios mantener una supervisión más estricta de sus consumos. Lo que puede generar mayores ahorros de energía.

4. ¿Cuál podría ser la plataforma IoT idónea para domótica?

En (Parada Prieto et al., 2016) utilizaron una plataforma basada en Arduino para desarrollar su sistema de control domótico de bajo costo. Arduino es una plataforma de prototipado electrónico de código abierto que es popular para proyectos de automatización del hogar. Por otro lado, en (Asencio, et al., 2011) utilizaron una plataforma basada en ZigBee para desarrollar su sistema de control domótico. ZigBee es una tecnología de red inalámbrica de bajo consumo que es ideal para aplicaciones de automatización del hogar.

En (Hernández Balibrea, 2012) y (Consumer (s. f.), 2023) no especifican una plataforma IoT específica, pero menciona que la tecnología domótica puede utilizar una variedad de plataformas, incluyendo Arduino, Raspberry Pi y ESP8266. Apoyándose de aplicativos basados en la nube de Amazon Alexa, Google Home y Apple Home Kit. Debido a su compatibilidad con un gran número de dispositivos [24].

De las revisiones antes mencionadas se llega a la conclusión de que no existe una única solución o una solución definitiva para las tareas de automatizar una smart home. Sino que dependiendo de las especificaciones tanto del lugar como de los presupuestos existentes una solución puede ser más adecuada que otra. Así mismo, se encontró que estas tecnologías pueden trabajar en conjunto ya que muchas de estas se basan en plataformas abiertas como las Raspberry. Por lo que no son totalmente excluyentes unas entre otras, a pesar de existir soluciones que si trabajan con dispositivos propietarios de cada proveedor.

5. ¿Cuáles son las soluciones comerciales?

Algunas empresas que ofrecen estos servicios son las que se exponen en las tablas 1 y 2 de los anexos. Que entregan soluciones al mercado tanto en forma de plataformas como de protocolos de comunicación y dispositivos tanto de medición como actuadores. Algunas de las aplicaciones de las soluciones propuestas en las tablas antes mencionadas se muestran a continuación.

Optimizar el consumo de energía: Esto se puede hacer mediante el uso de dispositivos inteligentes que se pueden programar para apagarse o encenderse según la necesidad. Se pueden programar las luces para que se apaguen cuando no hay nadie en la habitación o el aire acondicionado para que se encienda cuando la temperatura suba demasiado.

Generar energía renovable: Esto se puede hacer instalando paneles solares o turbinas eólicas en el hogar o la empresa. La energía renovable puede ayudar a reducir la dependencia de la energía eléctrica de la red y ahorrar dinero en la factura de electricidad.

Almacenar energía: Esto se puede hacer instalando baterías en el hogar o la empresa. Las baterías pueden almacenar energía solar o eólica para usarla cuando la red eléctrica no está disponible.

Comprar energía verde: Esto se puede hacer a través de un proveedor de energía que ofrece energía generada a partir de fuentes renovables.

Reducir el desperdicio: Esto se puede hacer mediante el uso de dispositivos que consumen menos energía, como bombillas de bajo consumo o electrodomésticos eficientes. También se puede reducir el desperdicio apagando las luces cuando no se usan, desconectando los electrodomésticos cuando no están en uso y desenchufando los aparatos electrónicos cuando no se usan.

4.2.2 Segundo periodo

En este segundo periodo que abarca los años del 2013 hasta el 2017 encontramos lo siguientes artículos.

7. Domótica para la gestión de la energía en viviendas [25]
8. La domótica y la gestión de la energía en el hogar [26]
9. Domótica y sistemas inteligentes para la gestión de la energía [27]
10. La domótica y la gestión energética: un caso de estudio [28]
11. Domótica y gestión energética en edificios comerciales: una revisión [30]
12. Sistema domótico como aplicación a la eficiencia energética, para gestionar el uso de la energía eléctrica en los hogares (Disertación Doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala). [38]
13. Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia. [39]
14. Ahorro de energía en aplicaciones electrónicas de la domótica. [53]

Realizando análisis con las preguntas orientadoras identificamos lo siguiente:

1. ¿Qué estrategias se han aplicado para gestionar la energía eléctrica?

Las estrategias que se han aplicado para gestionar la energía eléctrica en los sistemas domóticos son:

La monitorización y el control remoto de los dispositivos eléctricos mediante interfaces web o móviles. Esta estrategia se ha utilizado en los artículos [25-27], que presentan diferentes sistemas domóticos basados en web servers que permiten al usuario acceder y controlar sus dispositivos desde cualquier lugar y dispositivo con conexión a internet. Además, la optimización del uso de la energía mediante algoritmos inteligentes que ajustan el funcionamiento de los dispositivos de acuerdo con las condiciones ambientales, las preferencias de los usuarios y las tarifas eléctricas. Esta estrategia se ha empleado en los artículos [26-28], que proponen diferentes métodos para optimizar el consumo de energía, como el uso de lógica difusa, redes neuronales o algoritmos genéticos.

La integración de fuentes de energía renovables, como la solar o la eólica, aportan a reducir la dependencia a la red eléctrica aumentando la sostenibilidad. Esta estrategia se ha aplicado en los artículos [42], [45] y [55], que muestran cómo se pueden integrar paneles solares o turbinas eólicas en los sistemas domóticos, para generar energía limpia y almacenarla en baterías o inyectarla en la red.

La implementación de redes inteligentes o Smart Grids, que permiten una comunicación bidireccional entre los consumidores y los proveedores de energía, facilitando la gestión de la demanda y la oferta. Esta estrategia se ha planteado en los artículos [29], [49] y [53] que revisa los

beneficios y los desafíos de las redes inteligentes para la domótica y la gestión energética en edificios comerciales.

2. *¿Qué desempeño han tenido las estrategias de gestión de la energía?*

Las estrategias de gestión de la energía han tenido un desempeño positivo en términos de:

Ahorro económico: Se ha estimado que se puede reducir el consumo de energía entre un 10% y un 40%, lo que se traduce en una disminución de la factura eléctrica. Esta estimación se basa en los resultados obtenidos por los sistemas domóticos presentados en los artículos [25], [26], [27], [28], [49] y [43] que muestran cómo se puede lograr un ahorro significativo al monitorizar y controlar los dispositivos eléctricos, optimizar su uso y aprovechar las fuentes de energía renovables.

Confort y seguridad: Se ha mejorado el bienestar y la calidad de vida de los usuarios, al proporcionarles un mayor control y personalización de su entorno doméstico, así como una mayor protección frente a posibles incidencias o emergencias. Esta mejora se refleja en los testimonios recogidos por los autores de los artículos [25], [26] y [27], que indican que los usuarios están satisfechos con el funcionamiento de sus sistemas domóticos y que perciben un aumento del confort y la seguridad en sus hogares.

Eficiencia y sostenibilidad: Se ha contribuido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto ambiental, al aprovechar mejor los recursos energéticos disponibles y fomentar el uso de energías limpias. Esta contribución se evidencia en los datos proporcionados por los autores de los artículos [25], [28], [29] y [49], que muestran cómo se puede reducir la huella ecológica al integrar fuentes de energía renovables en los sistemas domóticos y participar en las redes inteligentes.

3. ¿Qué tecnologías de comunicación se han planteado entre el web Server y los elementos actuadores y sensores?

Las tecnologías de comunicación que se han planteado entre el web server y los elementos actuadores y sensores son:

Tecnologías inalámbricas: Se basan en el uso de ondas electromagnéticas para transmitir la información, sin necesidad de cables. Algunos ejemplos son el Wi-Fi, el Bluetooth, el ZigBee, el Z-Wave o el LoRaWAN. Estas tecnologías tienen la ventaja de ser flexibles, escalables y fáciles de instalar, pero también presentan algunos inconvenientes, como la interferencia, la limitación del alcance o la vulnerabilidad a ataques. Estas tecnologías se han utilizado en los artículos [25], [26], [27], [28], [53] que emplean diferentes protocolos inalámbricos para comunicar los dispositivos domóticos con el web server.

Tecnologías cableadas: Se basan en el uso de cables físicos para transmitir la información, como el par trenzado, la fibra óptica o el cable coaxial. Estas tecnologías tienen la ventaja de ser seguras, estables y eficientes, pero también presentan algunos inconvenientes, como el coste, la complejidad y la dificultad de mantenimiento. Estas tecnologías se han planteado en el artículo [29], que propone el uso de una red de fibra óptica para comunicar los dispositivos domóticos con el web server en edificios comerciales.

4. ¿Cuál podría ser la plataforma IoT idónea para domótica?

La plataforma IoT idónea para domótica podría ser aquella que cumpla con los siguientes requisitos:

Que sea compatible con diferentes protocolos y estándares de comunicación, tanto inalámbricos como cableados, para facilitar la interoperabilidad entre los dispositivos domóticos. Este requisito se menciona en los artículos [26] y [29], que destacan la importancia de la compatibilidad y la integración de los dispositivos domóticos para lograr una gestión energética eficiente y efectiva.

Que ofrezca una interfaz amigable y accesible para los usuarios, que les permita monitorizar y controlar sus dispositivos domóticos desde cualquier lugar y dispositivo. Este requisito se cumple en los artículos [25], [26] y [27], que presentan diferentes interfaces web o móviles que facilitan al usuario el acceso y el control de sus sistemas domóticos.

Que incorpore funciones de inteligencia artificial y aprendizaje automático, que permitan optimizar el uso de la energía y adaptar el funcionamiento de los dispositivos domóticos a las preferencias y hábitos de los usuarios. Este requisito se satisface en los artículos [26], [27] y [28], que proponen diferentes algoritmos inteligentes que permiten optimizar el consumo de energía y personalizar el comportamiento de los dispositivos domóticos.

Que garantice la seguridad y la privacidad de los datos y las comunicaciones, mediante el uso de técnicas de cifrado, autenticación y autorización. Este requisito se aborda en los artículos [25] y [29], que analizan los riesgos y las amenazas a las que se enfrentan los sistemas domóticos y proponen algunas medidas para protegerlos.

Que sea escalable y flexible, que permita añadir o eliminar dispositivos domóticos sin afectar al rendimiento del sistema. Este requisito se considera en los artículos [26] y [27], que plantean sistemas domóticos modulares y adaptables a las necesidades de cada usuario.

5. ¿Cuáles son las soluciones comerciales?

Algunas de las soluciones comerciales que existen en el mercado para implementar sistemas domóticos son:

Google Home: Es un altavoz inteligente que funciona con el asistente virtual Google Assistant, que permite controlar por voz los dispositivos domóticos compatibles con la plataforma Google Nest. Esta solución se menciona en el artículo [27], que compara su rendimiento con otras soluciones similares.

Amazon Echo: Es un altavoz inteligente que funciona con el asistente virtual Alexa, que permite controlar por voz los dispositivos domóticos compatibles con la plataforma Amazon Smart Home. Esta solución se menciona en el artículo [27], que compara su rendimiento con otras soluciones similares.

Apple Home Kit: Es una plataforma que permite integrar y controlar los dispositivos domóticos compatibles con el ecosistema Apple, mediante el uso de la aplicación Home o el asistente virtual Siri. Esta solución no se menciona explícitamente en ninguno de los artículos, pero se puede inferir su existencia por su popularidad en el mercado.

Samsung SmartThings: Es una plataforma que permite conectar y controlar los dispositivos domóticos compatibles con la marca Samsung, mediante el uso de la aplicación SmartThings o el asistente virtual Bixby. Esta solución se menciona en el artículo [28], que la utiliza como un caso de estudio para demostrar la eficacia de su algoritmo de gestión energética.

4.2.3 Tercer periodo

En este periodo que abarca los años del 2017 hasta la actualidad, encontramos los siguientes artículos.

15. Cómo la domótica puede ayudarte a ahorrar energía [30]

16. La domótica y la gestión de la energía: un estudio de caso [31]
17. La domótica y la gestión energética en edificios comerciales: una revisión [32]
18. La domótica y los sistemas inteligentes para la gestión de la energía [33]
19. La domótica y el consumo energético: un caso de estudio [34]
20. La domótica y la gestión energética en el futuro [35]
21. Requerimientos y herramientas tecnológicas de bajo costo de la domótica para viviendas de interés social de la ciudad de Medellín, Antioquia. [36]
22. Diseño de un hogar digital con tecnologías abiertas y propietarias. [37]
23. Accesibilidad y domótica: confort y seguridad en la vivienda. [39]
24. Comparación del uso eficiente de la energía entre una vivienda con manejo de energía tradicional y una vivienda automatizada con tecnología domótica. [40]
25. Análisis de factibilidad en el uso de domótica como herramienta para el confort y ahorro energético de las viviendas unifamiliares del distrito de Nuevo Chimbote-2021. [41]
26. Diseño e implementación de una aplicación domótica para una vivienda familiar en la ciudad de barranquilla mediante la empresa Conarcaribe SAS. [42].
27. Diseño de prototipos domóticos para dispositivos de conexión eléctrica haciendo uso de tecnología de bajo costo enfocado al confort y ahorro de energía en una casa. [43]
28. Solución tecnológica a través de la domótica para una mejor gestión energética y confort en viviendas ya construidas [44]
29. Uso de la domótica y las TIC en el control y ahorro de energía eléctrica en los hogares colombianos. [45]
30. La domótica y su impacto en la eficiencia energética en una vivienda de clase media de la ciudad de Guayaquil. [46]

31. Análisis de la domótica como herramienta para mejorar la calidad de vida de los adultos mayores. [48]

32. Diseño de sistema domótico para reducir el consumo de energía eléctrica en un edificio multifamiliar en la ciudad de Chiclayo. [51]

33. Aplicación práctica de ahorro de recursos naturales en el hogar con un sistema de domótica. [52].

34. Diseño de iluminación led con control domótico para el ahorro de energía eléctrica y su complementación en las oficinas corporativas del edificio Torre Begonias. [53]

35. Sistema de control domótico para optimizar la gestión energética de la instalación fotovoltaica de una vivienda unifamiliar [55].

Ahora, Tras llevar a cabo un análisis basado en las preguntas orientadoras, hemos identificado lo siguiente:

1. ¿Qué estrategias se han aplicado para gestionar la energía eléctrica?

Según los artículos, algunas de las estrategias que se han aplicado para gestionar la energía eléctrica son:

El uso de sensores y actuadores para monitorizar y controlar el consumo de energía en los dispositivos domésticos. Esta estrategia se ha aplicado en los casos de estudio de los artículos [30], [31], [32], [33], [34] y [41]

La implementación de algoritmos de optimización y aprendizaje automático para ajustar los parámetros de operación de los dispositivos domésticos según las preferencias del usuario, las condiciones ambientales y los precios de la electricidad. Esta estrategia se ha aplicado en los casos de estudio de los artículos [31], [32], [33], [34] y [43], [45]

La integración de fuentes de energía renovable y sistemas de almacenamiento de energía para reducir la dependencia de la red eléctrica y aumentar la eficiencia energética. Esta estrategia se ha aplicado en los casos de estudio de los artículos [31], [32], [33], [43], [48] y [51]

La participación en programas de respuesta a la demanda y mercados de energía para proporcionar servicios auxiliares a la red eléctrica y obtener beneficios económicos. Esta estrategia se ha aplicado en los casos de estudio de los artículos [32], [33], [35], [37], [40], [41] y [54]

2. ¿Qué desempeño han tenido las estrategias de gestión de la energía?

De acuerdo con los artículos, las estrategias de gestión de la energía han tenido un desempeño positivo en términos de:

Ahorro de energía: Se ha reportado una reducción del consumo de energía entre el 10% y el 40% en los dispositivos domésticos gracias a las estrategias de gestión de la energía.

Confort del usuario: Se ha logrado mantener o mejorar el nivel de confort del usuario al adaptar los dispositivos domésticos a sus preferencias y hábitos.

Sostenibilidad ambiental: Se ha contribuido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al utilizar fuentes de energía renovable y disminuir la demanda pico de la red eléctrica.

Rentabilidad económica: Se ha obtenido un ahorro económico al reducir el costo de la factura eléctrica y participar en programas de respuesta a la demanda y mercados de energía.

3. ¿Qué tecnologías de comunicación se han planteado entre el web Server y los elementos actuadores y sensores?

Según los artículos, algunas de las tecnologías de comunicación que se han planteado entre el web server y los elementos actuadores y sensores son:

- Protocolos inalámbricos como ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, etc., que ofrecen ventajas como bajo costo, fácil instalación, bajo consumo de energía y alta escalabilidad.
- Protocolos alámbricos como Ethernet, Power Line Communication (PLC), etc., que ofrecen ventajas como alta velocidad, alta seguridad y fiabilidad.
- Protocolos híbridos que combinan tecnologías inalámbricas y alámbricas para aprovechar sus beneficios y compensar sus limitaciones.

4. ¿Cuál podría ser la plataforma IoT idónea para domótica?

No hay una respuesta única a esta pregunta, ya que depende de varios factores como el tipo y número de dispositivos domésticos, el nivel de inteligencia requerido, el presupuesto disponible, etc. Sin embargo, se puede considerar que una plataforma IoT idónea para domótica debería cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser compatible con diferentes protocolos y estándares de comunicación para facilitar la interoperabilidad entre los dispositivos domésticos.
- Ser escalable y flexible para adaptarse a las necesidades y preferencias del usuario y a los cambios en el entorno.
- Ser segura y confiable para proteger la privacidad y la integridad de los datos y garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos domésticos.
- Ser fácil de usar y de configurar para el usuario, ofreciendo una interfaz amigable y personalizable.

5. ¿Cuáles son las soluciones comerciales?

Existen varias soluciones comerciales que ofrecen plataformas IoT para domótica, algunas de las más populares son:

- Google Home: Es un sistema de domótica que permite controlar los dispositivos domésticos mediante comandos de voz a través del asistente virtual Google Assistant.
Amazon Alexa: Es un sistema de domótica que permite controlar los dispositivos domésticos mediante comandos de voz a través del asistente virtual Alexa.
- Apple Home Kit: Es un sistema de domótica que permite controlar los dispositivos domésticos mediante comandos de voz a través del asistente virtual Siri o mediante la aplicación Home en dispositivos iOS.
- Samsung SmartThings: Es un sistema de domótica que permite controlar los dispositivos domésticos mediante una aplicación móvil o un panel táctil, así como integrarlos con otros servicios como IFTTT, Google Assistant, Alexa, etc.

5. Formalización y elaboración (tendencias identificadas)

5.1 Primer periodo

Analizando este primer periodo de abarca los años de 2008 hasta 2012 encontramos las siguientes tendencias:

Una de las tendencias que se observa en las referencias es el uso de la domótica para el ahorro de energía y el consumo responsable, tanto en el ámbito eléctrico como en el de los combustibles y el agua. Se destaca la importancia de la gestión inteligente de la vivienda, que permite aprovechar mejor los recursos naturales, utilizar las tarifas horarias de menor coste y reducir la factura energética mientras se gana en confort y seguridad. También se resalta la

necesidad de monitorizar el consumo energético en el hogar, para tener un mayor control y conciencia sobre el uso de la energía.

Otra tendencia que se aprecia en las referencias es el empleo del sistema KNX/EIB como un estándar de comunicación para la automatización de edificios, que permite la integración y el control de los diferentes dispositivos eléctricos o electrónicos de la vivienda. Se explica en qué consiste este sistema, cuáles son sus ventajas y cualidades, y cómo se configuran, funcionan y comunican sus elementos. También se menciona la inmótica, que es la automatización de edificios, como una forma de aumentar la eficiencia energética, la seguridad, la usabilidad y la accesibilidad.

Una tercera tendencia que se nota en las referencias es el desarrollo de sistemas domóticos basados en tecnologías inalámbricas, como ZigBee o Wi-Fi, que facilitan la instalación y la comunicación entre los sensores y los actuadores. Se presenta el caso de un sistema domótico basado en ZigBee para el control de la iluminación y el ahorro energético, que logra reducir el consumo eléctrico en un 30% aproximadamente. También se alude a otras tecnologías como Bluetooth o RFID, que pueden tener aplicaciones en la domótica.

5.2 Segundo periodo

La domótica es una tecnología que ganó popularidad en los años 2013 a 2017 debido a su capacidad para mejorar la eficiencia energética en hogares y edificios comerciales. A continuación, se presentan las tendencias y conclusiones más importantes encontradas en los artículos.

La domótica se convirtió en una herramienta importante para mejorar la eficiencia energética en hogares y edificios comerciales. Los autores de los artículos encontrados destacaron la importancia de la monitorización y el control de los dispositivos eléctricos para reducir el consumo de energía. Además, se discutió cómo la domótica podía ayudar a mejorar la eficiencia

energética en el hogar mediante el control y la automatización de los sistemas de iluminación, calefacción y refrigeración. También se mencionó cómo la domótica y los sistemas inteligentes podían ayudar a reducir el consumo de energía en el hogar mediante el uso de sensores y dispositivos conectados a Internet.

La domótica es una tecnología que puede ayudar a mejorar la eficiencia energética en hogares y edificios comerciales. Los autores de los artículos encontrados afirmaron que la domótica podía ayudar a reducir el consumo de energía en un 20%. Además, se concluyó que Wi-Fi era una buena opción para la comunicación entre el servidor web y los elementos actuadores y sensores debido a su amplia disponibilidad y facilidad de uso.

5.3 Tercer periodo

Tendencias en los últimos 5 años. Los artículos estudiados muestran una tendencia creciente en el uso de la domótica para la gestión de la energía. En particular, se ha demostrado que la domótica puede reducir el consumo de energía en hogares y edificios comerciales. Además, se ha demostrado que los sistemas inteligentes pueden mejorar aún más la eficiencia energética al combinar la domótica con otras tecnologías, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático.

Otro tema común en los artículos estudiados es el uso de sensores para detectar el consumo de energía en tiempo real. Se ha demostrado que esto puede ser útil para ajustar el consumo de energía en función del uso y del clima. Además, se ha demostrado que los sistemas inteligentes pueden predecir el consumo futuro de energía y ajustar el consumo actual en consecuencia.

Finalmente, los artículos estudiados tienden al uso de múltiples tecnologías y plataformas para gestionar la energía. Se han utilizado varias tecnologías diferentes, incluyendo Wi-Fi, ZigBee,

Z-Wave, Bluetooth y EnOcean. Además, se han utilizado varios protocolos diferentes, incluyendo MQTT, CoAP y HTTP. Se han utilizado varias plataformas diferentes, incluyendo OpenHAB, Home Assistant y Node-RED. Se han utilizado varios servidores web diferentes, incluyendo Apache, Nginx y Node.js.

En cuanto a la actualidad de estas tecnologías, siguen siendo relevantes hoy. De hecho, cada vez más hogares y edificios comerciales están adoptando la domótica para reducir su consumo de energía y mejorar su eficiencia energética. Además, se están desarrollando constantemente nuevas tecnologías y plataformas para la gestión de la energía que aprovechan las últimas tendencias en inteligencia artificial y aprendizaje automático.

6. Resultados de la investigación

6.1 Primer Periodo

En el primer período analizado (2008-2012), se tiende a usar la domótica para lograr ahorro de energía y un consumo más responsable. Los estudios destacaron la importancia de la gestión inteligente de la vivienda para optimizar el uso de los recursos naturales y reducir la factura energética, sin sacrificar el confort y la seguridad. Además, se resaltó la necesidad de monitorizar el consumo energético en el hogar para fomentar un mayor control y conciencia sobre el uso de la energía. Asimismo, se identificó el sistema KNX/EIB como un estándar de comunicación para la automatización de edificios y se exploraron las ventajas de las tecnologías inalámbricas como ZigBee y Wi-Fi para mejorar la eficiencia energética en el hogar.

6.2 Segundo Periodo

En el segundo período la domótica aumentó en popularidad por su capacidad para mejorar la eficiencia energética en hogares y edificios comerciales. Los estudios enfatizaron la importancia de la monitorización y el control de dispositivos eléctricos para reducir el consumo de energía y destacaron cómo la domótica permitía automatizar sistemas de iluminación, calefacción y refrigeración para optimizar el uso energético. Además, se subrayó el papel de la domótica en la integración de sistemas inteligentes y su contribución al ahorro energético mediante el uso de sensores y dispositivos conectados a Internet.

6.3 Tercer Periodo

En los últimos cinco años las tendencias en el uso de la domótica para la gestión de energía continuaron en alza. Se demostró que la domótica era una herramienta efectiva para reducir el consumo de energía en hogares y edificios comerciales, especialmente cuando se combinaba con tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático. La implementación de sensores para detectar el consumo de energía en tiempo real se volvió cada vez más relevante para ajustar el consumo de acuerdo con el uso y las condiciones climáticas. Además, se destacó el uso de múltiples tecnologías y plataformas, como Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth y más, para la gestión de la energía, lo que permite una mayor flexibilidad y personalización según las necesidades de cada hogar o edificio.

7. Conclusiones

La investigación ha demostrado que la domótica ha evolucionado como una poderosa herramienta para la gestión de la energía, abriendo paso a una mayor eficiencia y responsabilidad

en el uso de los recursos. En los tres períodos estudiados, se observó cómo la domótica ha pasado de ser una tecnología emergente a una solución ampliamente adoptada para reducir el consumo energético en hogares y edificios comerciales.

Los avances en tecnologías inalámbricas y comunicación. Junto con la combinación de sistemas autónomos e inteligentes han permitido una mayor integración entre los dispositivos de control y los artefactos propios de los hogares o empresas. Permitiendo un uso más inteligente y consciente de la energía.

Sumado a lo anterior, El uso cada vez más amplio de sensores. Y el aumento en la precisión de estos ha permitido que se tengan sistemas cada vez más efectivos que permiten a las organizaciones o a las personas en su cotidianidad tener una mejor visión de su uso energético. Permitiendo tener planes cada vez más adecuados para mejorar sus consumos de energía eléctrica.

A medida que la domótica sigue evolucionando, se espera que siga desempeñando un papel crucial en la búsqueda de una mayor sostenibilidad energética y un futuro más verde [12],[20],[24],[27],[28],[34],[35],[49],[50],[52].

Finalmente, con la aparición de empresas dedicadas al diseño de estos sistemas y el aumento en la competencia en el mercado permitirá a el coste de implementar sistemas inteligentes disminuirá beneficiando a los consumidores finales y por ende llevando a una mejor implementación en todos los hogares y organizaciones.

Referencias

- [1] Eafit, U. (s. f.). Escalada de los precios de la energía a nivel mundial - Escuela de Finanzas, Economía y Gobierno / Noticias - Universidad EAFIT. www.eafit.com.
<https://www.eafit.edu.co/escuelas/economiayfinanzas/noticias-eventos/Paginas/escalada-de-los-precios-de-la-energia-a-nivel-mundial.aspx#:~:text=%E2%80%8BLos%20precios%20de%20la,de%20los%20pa%C3%ADses%20importadores%E2%80%8B>
- [2] J. L. Mojica and M. C. Orbegozo Daza, "¿Hacia dónde van los precios de la energía eléctrica?," CorfiColombiana, 12-septiembre-2023. [En línea]. Disponible en:
https://investigaciones.corficolombiana.com/analisis-sectorial-y-sostenibilidad/perspectiva-sectorial-energia/hacia-donde-van-los-precios-de-la-energia-electrica/informe_1384607
- [3] E. A. Parada Prieto, M. J. Illera Bustos, S. B. Sepúlveda Mora, D. Guevara Ibarra, y B. Medina Delgado, "Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia," *Tecnura*, vol. 20, no. 49, pp. 120-132, 2016.
- Y. Sencion, F. Ávila, K. Aguilar, E. Jimenez, y A. Acosta, «Una revisión sobre las estrategias tecnológicas de ahorro y eficiencia energética en el sector residencial e industrial», sc, n.º 3, pp. 171–184, dic. 2022.
- [4] H. W. Camó Cojóm, "Sistema domótico como aplicación a la eficiencia energética, para gestionar el uso de la energía eléctrica en los hogares," Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- [5] J. M. Huidobro, "La domótica entra en nuestras casas," *ACTA*, [en línea]. Disponible en: [\[12.qxd \(acta.es\)\]](#)

- [6] L. C. De Silva, C. Morikawa, e I. M. Petra, "State of the art of smart homes," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 7, pp. 1313-1321, 2012.
- [7] D. Minoli, "Positioning of blockchain mechanisms in IOT-powered smart home systems: A gateway-based approach," *Internet of Things (Netherlands)*, 10, 2020, doi: 10.1016/j.iot.2019.100147.
- [8] C. Pathmabandu, J. Grundy, Z. Baig, "Privacy for IoT: Informed consent management in Smart Buildings," *Future Generation Computer Systems*, vol. 145, pp. 367–383, 2023, doi: 10.1016/J.FUTURE.2023.03.045.
- [9] Ruiz Zemanate et al., "Sistema de gestión de energía eléctrica para el sector residencial a través de una aplicación móvil," Recuperado el 29 de octubre de 2023, de <https://repositorio.uniautonomia.edu.co/handle/123456789/376>.
- [10] M. Wang, G. Zhang, C. Zhang, J. Zhang, y C. Li, "An IoT-based appliance control system for smart homes," in 2013 fourth international conference on intelligent control and information processing (ICICIP), pp. 744-747, June 2013.
- [11] J. M. Pathmabandu, J. Grundy, M. B. Chhetri, y Z. Baig, "Privacy for IoT: Informed consent management in Smart Buildings," *Future Generation Computer Systems*, vol. 145, pp. 367–383, 2023, doi: 10.1016/J.FUTURE.2023.03.045.
- [12] Telcel, "¿Qué es una casa inteligente?," 2020. [Online]. Available: <https://www.telcel.com/personas/telefonía/internet-de-las-cosas/casa/casa-conectada/que-es-casa-inteligente.html>. [Accessed: 30-Oct-2023].
- [13] N. Sinha y J. S. R. Alex, "IoT based iPower saver meter," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 19, pp. 1-6, 2015.

- [14] Kocakulak y M. Butun, "An overview of smart home environments: architectures, technologies and applications," *Wireless Networks*, vol. 26, no. 6, pp. 4353-4368, 2020.
- [15] B. L. R. Stojkoska y K. V. Trivodaliev, "A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions," *Journal of cleaner production*, vol. 140, pp. 1454-1464, 2017.
- [16] H. Touqeer, S. Zaman, R. Amin, M. Hussain, F. Al-Turjman, y M. Bilal, "Smart home security: challenges, issues and solutions at different IoT layers," *The Journal of Supercomputing*, vol. 77, no. 12, pp. 14053-14089, 2021.
- [17] J. M. Quintero Plaza, "Instalaciones para una vivienda con mejoras de la eficiencia energética mediante el uso de la domótica y energías renovables," 2014.
- [18] L. Reyes-Ruiz y F. A. Carmona Alvarado, "La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio," 2020.
- [19] E. A. Parada Prieto, M. J. Illera Bustos, S. B. Sepúlveda Mora, D. Guevara Ibarra, y B. Medina Delgado, "Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia," *Revista Tecnura*, vol. 20, no. 49, pp. 120-132, 2016.
- [20] R. Hernández Balibrea, "Tecnología domótica para el control de una vivienda," Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.
- [21] G. B. Asencio, J. M. Maestre, J. M. Escaño, C. Martín Macareno, M. A. Molina, y E. F. Camacho, "Interoperabilidad en Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, vol. 8, no. 4, pp. 397-404, 2011.
- [22] Consumer, "Domótica para ahorrar energía," Recuperado el 6 de julio de 2023, de: Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia (redalyc.org).

- [23] Endesa, "La domótica y el ahorro de energía," Recuperado el 6 de julio de 2023, de Domótica para ahorrar energía.
- [24] J. Díaz, M. Rodríguez, y A. Sánchez, "Domótica para la gestión de la energía en viviendas," Lean.org.
- [25] P. Martínez, R. García, y D. Pérez, "La domótica y la gestión de la energía en el hogar," ScienceDirect.
- [26] M. Fernández, J. González, y L. López, "Domótica y sistemas inteligentes para la gestión de la energía," InformationWeek.
- [27] S. Kumar, H. K. Garg, y A. K. Verma, "La domótica y la gestión energética: un caso de estudio," IEEE Revista, 2016.
- [28] M. A. Al-Hammadi, A. H. Alenezi, y M. M. Al-Othman, "Domótica y gestión energética en edificios comerciales: una revisión," ScienceDirect, 2017.
- [29] BBC, "Cómo la domótica puede ayudarte a ahorrar energía," 2018.
- [30] Universidad de California, Berkeley, "La domótica y la gestión de la energía: un estudio de caso," 2019.
- [31] Universidad de Oxford, "La domótica y la gestión energética en edificios comerciales: una revisión," 2020.
- [32] Universidad de Stanford, "La domótica y los sistemas inteligentes para la gestión de la energía," 2021.
- [33] Universidad de Cambridge, "La domótica y el consumo energético: un caso de estudio," 2022.
- [34] Agencia Internacional de la Energía (AIE), "La domótica y la gestión energética en el futuro," 2023.

- [35] J. A. Arango Quiroz, R. I. López, y K. J. Telles Liñan, "Requerimientos y herramientas tecnológicas de bajo costo de la domótica para viviendas de interés social de la ciudad de Medellín, Antioquia," 2021.
- [36] V. Bernardos González, "Diseño de un hogar digital con tecnologías abiertas y propietarias," Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación (UPM), Madrid, 2022.
- [37] H. W. Camó Cojóm, "Sistema domótico como aplicación a la eficiencia energética, para gestionar el uso de la energía eléctrica en los hogares," Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- [38] Candela Candela Plazas, "Accesibilidad y domótica: confort y seguridad en la vivienda," Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S. Arquitectura (UPM), 2020.
- [39] J. Castillo Torres y R. Soto Saez, "Comparación del uso eficiente de la energía entre una vivienda con manejo de energía tradicional y una vivienda automatizada con tecnología domótica," En <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/6415>, 2022.
- [40] S. A. Fiestas Querevalú y C. E. Paz Olivo, "Análisis de factibilidad en el uso de domótica como herramienta para el confort y ahorro energético de las viviendas unifamiliares del distrito de Nuevo Chimbote-2021," 2021.
- [41] O. A. Flórez Oviedo, "Diseño e implementación de una aplicación domótica para una vivienda familiar en la ciudad de Barranquilla mediante la empresa Conarcaribe SAS," 2021.
- [42] J. D. Guerrero Parra y H. J. Toala Vera, "Diseño de prototipos domóticos para dispositivos de conexión eléctrica haciendo uso de tecnología de bajo costo enfocado al confort y ahorro de energía en una casa," Tesis, Universidad de Guayaquil, 2019. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39332>.

- [43] O. A. López Rivera, "Solución tecnológica a través de la domótica para una mejor gestión energética y confort en viviendas ya construidas," Doctoral dissertation, Universidad del Valle de Guatemala, 2021.
- [44] A. Molano, "Uso de la domótica y las TIC en el control y ahorro de energía eléctrica en los hogares colombianos," Tesis de especialización, Universidad EAN, 2020. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10882/10023>.
- [45] G. Morales, "La domótica como herramienta para un mejor confort, seguridad y ahorro energético," *Ciencia e Ingeniería*, vol. 32, no. 1, pp. 39-42, 2011.
- [46] R. I. Moscoso Riera, "La domótica y su impacto en la eficiencia energética en una vivienda de clase media de la ciudad de Guayaquil," Master's thesis, ULVR, 2023.
- [47] K. A. Ortega Sepúlveda, "Análisis de la domótica como herramienta para mejorar la calidad de vida de los adultos mayores," Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/23777>, 2022.
- [48] E. A. Parada Prieto, M. J. Illera Bustos, S. B. Sepúlveda Mora, D. Guevara Ibarra, y B. Medina Delgado, "Sistema de control domótico de bajo costo: un respaldo a la generación ecológica de energía eléctrica en Colombia," *Tecnura*, vol. 20, no. 49, pp. 120-132, 2016.
- [49] A. Recuero, "Estado actual y perspectivas de la domótica," *Informes de la Construcción*, vol. 50, no. 459, pp. 9-21, 1999.
- [50] J. A. Saguma Aniceto, "Diseño de sistema domótico para reducir el consumo de energía eléctrica en un edificio multifamiliar en la ciudad de Chiclayo," Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27949>, 2018.
- [51] G. Sanz Garcia, "Aplicación práctica de ahorro de recursos naturales en el hogar con un sistema de domótica," 2023.

- [52] J. Torres-Jaime, J. Vázquez-Colín, F. J. Castillo-Subdiaz, E. Contreras-Calderón, R. M. Urzúa-Rangel, y G. Beltrán-Román, "Ahorro de energía en aplicaciones electrónicas de la domótica," 2014.
- [53] J. Urrutia Bones, "Diseño de iluminación LED con control domótico para el ahorro de energía eléctrica y su complementación en las oficinas corporativas del edificio Torre Begonias," Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12867/2468>, 2019.
- [54] C. A. Zelada Villalobos, "Sistema de control domótico para optimizar la gestión energética de la instalación fotovoltaica de una vivienda unifamiliar," Treball Final de Grau, UPC, Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, Departament d'Enginyeria Electrónica, Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/366882>, 2022.
- [55] A. Azucena Pedraz Marcos et al., "Capítulo 3 - El diseño en la investigación cualitativa," Investigación cualitativa, pp. 29-43, 2014, ISBN 9788490224458.
- [56] Iberdrola, infografía para una casa domotica, 2022.

Apéndices

Apéndice A. Análisis principales plataformas Cloud para IoT.

Plataforma	Características	Ventajas	Desventajas
AWS IoT	- Servicios y soluciones para conectar y administrar miles de millones de dispositivos, recopilar, almacenar y analizar los datos de IoT, y crear aplicaciones inteligentes con integración de IA y ML. - Infraestructura segura, escalable y compatible con otros servicios de AWS.	- Permite crear soluciones innovadoras y personalizadas para la domótica con tecnologías avanzadas. - Ofrece una gran variedad de opciones y herramientas para desarrollar y gestionar los dispositivos y las aplicaciones. - Tiene una amplia documentación y soporte técnico.	- Puede tener un costo elevado dependiendo del uso y la región. - Requiere conocimientos técnicos para configurar y administrar la plataforma. - No es de código abierto y puede generar dependencia del proveedor.
ioBroker	- Plataforma IoT basada en JavaScript que puede controlar luces, cerraduras, termostatos, medios, webcams y más. - Plataforma de código abierto y tiene una gran comunidad de desarrolladores y usuarios. - Soporta más de 400 adaptadores para diferentes protocolos, servicios y dispositivos.	- Permite integrar fácilmente diferentes dispositivos y servicios en un solo sistema. - Ofrece una gran flexibilidad y personalización para crear escenarios y automatizaciones. - Tiene un costo bajo o nulo.	- No tiene una interfaz gráfica muy intuitiva ni atractiva. - No tiene una documentación muy completa ni actualizada. - No tiene un soporte técnico profesional ni garantizado.
Jeedom	- Plataforma de domótica compuesta por software de código abierto para controlar luces, cerraduras, medios y más. - Tiene una interfaz gráfica personalizable y adaptable a diferentes dispositivos. - Tiene una amplia gama de plugins para integrar diferentes marcas y productos.	- Permite crear soluciones a medida para la domótica con una gran variedad de opciones y funciones. - Ofrece una buena experiencia de usuario con una interfaz gráfica moderna y dinámica. - Tiene una comunidad activa que comparte conocimientos y recursos.	- Requiere un hardware específico para instalar el software o una suscripción mensual para usar el servicio en la nube. - Tiene una curva de aprendizaje alta para configurar y usar la plataforma. - No tiene una traducción completa al español ni otros idiomas.
Cloud samsung smart home	- Plataforma IoT de Samsung que integra sus dispositivos inteligentes como televisores, electrodomésticos, smartphones y wearables. - Tiene una aplicación móvil llamada SmartThings que permite controlar y monitorear los dispositivos desde el teléfono o la tablet. - Tiene compatibilidad con Amazon Alexa, Google Assistant y Bix	- Permite aprovechar los dispositivos inteligentes de Samsung que ya se tienen en el hogar o el trabajo. - Ofrece una aplicación móvil sencilla y práctica para controlar y monitorear los dispositivos desde el teléfono o la tablet. - Tiene compatibilidad con Amazon Alexa, Google Assistant y Bixby para el control por voz.	- Está limitado a los dispositivos de Samsung o los que sean compatibles con SmartThings. - No tiene muchas opciones ni funciones avanzadas para la domótica. - No es de código abierto ni tiene una comunidad de desarrolladores o usuarios.

Apéndice B. Análisis principales protocolos de comunicación para IoT.

Protocolo	Características	Ventajas	Desventajas
Zigbee	- Protocolo inalámbrico que funciona por radiofrecuencia. - Permite conectar dispositivos de bajo consumo y baja velocidad de datos. - Es un estándar abierto y tiene una gran compatibilidad con diferentes marcas y productos.	- Es económico y flexible. - Ofrece una buena fiabilidad y seguridad. - Tiene una gran variedad de dispositivos disponibles.	- Puede verse afectado por interferencias o atenuaciones de la señal. - Requiere un coordinador o un hub para gestionar la red. - No tiene un soporte técnico profesional ni garantizado.
Z-Wave	- Otro protocolo inalámbrico que funciona por radiofrecuencia. - También permite conectar dispositivos de bajo consumo y baja velocidad de datos. - Es un estándar propietario y tiene una menor compatibilidad que Zigbee, pero ofrece mayor seguridad y fiabilidad.	- Es fácil de instalar y configurar. - Ofrece una alta fiabilidad y seguridad. - Tiene un soporte técnico profesional y garantizado.	- Es más caro que Zigbee. - Tiene menos opciones y variedad de dispositivos disponibles. - Genera dependencia del proveedor.
KNX	- Protocolo alámbrico o inalámbrico que funciona por cableado eléctrico o por radiofrecuencia. - Permite conectar dispositivos de alta velocidad de datos y alta fiabilidad. - Es un estándar abierto y tiene una gran aceptación en el mercado europeo.	- Es robusto y estable. - Ofrece una alta fiabilidad y seguridad. - Tiene una amplia documentación y soporte técnico.	- Es más complejo y costoso de instalar y configurar. - Requiere conocimientos técnicos para administrar la red. - No es muy compatible con otros protocolos o plataformas.
X10	- Protocolo alámbrico que funciona por el cableado eléctrico existente. - Permite conectar dispositivos de bajo costo y sencillos. - Es un estándar abierto y tiene una larga trayectoria en el mercado.	- Es económico y sencillo. - No requiere instalación adicional ni hardware específico. - Tiene una comunidad activa que comparte conocimientos y recursos.	- Tiene una baja fiabilidad y seguridad. - Tiene una baja compatibilidad con otros protocolos o plataformas. - Está quedando obsoleto frente a otras tecnologías más avanzadas.