

**POSIBLES IMPACTOS Y DIFERENTES PERSPECTIVAS DEL USO DE
DISPOSITIVOS IOT Y SOFTWARE PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA, EN EL
HOGAR; UNA PERSPECTIVA EXPLORATORIA Y ANALÍTICA PARA EL 2025 A
2030 EN COLOMBIA.**

Walter Mauricio Castaño Cifuentes

Asesores

Javier Alberto Saldarriaga Cano

Ramiro Antonio Lopera Sanchez

Institución Universitaria Pascual Bravo

Facultad De Ingeniería

Tecnología En Desarrollo De Software

Medellín

2025

Tabla de Contenido

Tablas.....	5
Lista de figuras.....	6
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Generalidades de la Investigación.....	9
Descripción del Problema.....	9
Formulación del problema.....	10
Justificación y antecedentes.....	11
Objetivos.....	15
Metodología de Investigación.....	16
Marco de Referencia.....	18
Antecedentes.....	18
Sistema de Monitoreo de Señales Eléctricas y Control Automático Para Eficiencia Energética con Integración IoT.....	18
Sistema Embebido Para la Gestión Energética Basado en Tecnología IoT y Servicios Cloud.....	19
Análisis e implementación de controladores software para la integración y monitorización de sensores en plataforma de internet of things.....	20
Diseño y Evaluación mediante Software de Simulación una Red IoT que Permita el Control y Monitoreo en Tiempo Real.....	22
Análisis del consumo de energía promedio en dispositivos IoT de baja potencia con Blockchain como solución de seguridad.....	23
Sistema de monitoreo del suministro eléctrico de un dispositivo de video-vigilancia utilizando tecnologías del Internet de las Cosas.....	25
Sistema IoT para seguimiento e identificación de activos en interiores.....	26
Técnicas de inteligencia artificial y Big Data en la gestión óptima de parques fotovoltaicos: Estado del arte.....	28
Sistema de control de luminarias y aires acondicionados y monitoreo de energía eléctrica y temperatura de aulas del edificio de posgrados de la Universidad Libre Seccional Cúcuta.....	29
Trayectoria normativa de la inteligencia artificial en los países de Latinoamérica con un marco jurídico para la protección de datos: Límites y posibilidades de las políticas integradoras.....	31
Implementación de un sistema IoT-Cloud para el ahorro de agua y energía en el hogar.....	32
Estrategias técnico - regulatorias para la implementación de la infraestructura AMI en el horizonte 2030 en Colombia.....	34
Marco Teórico.....	35
Big Data.....	35
Inteligencia Artificial (IA).....	37
Internet de las Cosas (IoT).....	39

Red Eléctrica Inteligente (REI).....	42
Gestión Energética Inteligente.....	43
Domótica o Automatización Residencial.....	43
Marco conceptual.....	44
Marco legal.....	50
Marco contextual.....	51
Contexto energético global.....	51
Contexto latinoamericano y colombiano.....	52
Caracterización del país.....	53
Inteligencia Artificial (IA) en Colombia.....	56
Estado del Arte.....	59
Revisión de investigaciones y desarrollos recientes.....	59
A comprehensive review on IoT protocols' features in smart grid communication. Energies.....	60
El estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en la edificación y su impacto en la eficiencia energética.....	60
IoT en el sector energético: software de monitorización y análisis de variables ambientales y energéticas.....	61
Arquitectura Big Data para edificios inteligentes basada en herramientas Open Source enfocada en la gestión energética.....	62
Propuesta de métricas para comparación de Frameworks IoT. En XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.....	62
Implementación de un Protocolo de Enrutamiento para Redes de Sensores IoT en CupCarbon.....	63
Machine learning-enhanced all-photovoltaic blended systems for energy-efficient sustainable buildings.....	64
Optimization of energy consumption in smart city using reinforcement learning algorithm.....	64
Desarrollo de una aplicación IoT basada en FIWARE para incrementar la eficiencia energética en una Smart City.....	65
Desarrollo de aplicación IoT para la monitorización de consumos eléctricos en una vivienda.....	66
Aplicaciones de la inteligencia artificial a las energías renovables.....	66
Sistema de control de luminarias y aires acondicionados y monitoreo de energía eléctrica y temperatura de aulas del edificio de posgrados de la Universidad Libre Seccional Cúcuta.....	67
Artificial intelligence with IoT for energy efficiency in buildings.....	68
HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving. Energies.....	68
Desarrollo de un prototipo de telegestión IoT para los tomacorrientes en instalaciones eléctricas de baja tensión en Colombia.....	69
Desarrollo de un sistema IoT para el control y monitoreo remoto; y detección y notificación de bombillas apagadas del sistema actual de iluminación de crisantemos en la empresa Flores El Capiro S.A.....	70
Optimization of DC, AC, and Hybrid AC/DC Microgrid-Based IoT Systems: A Review..	70
A Survey on IoT-Enabled Smart Grids: Emerging, Applications, Challenges, and	

Outlook.....	71
Comparación crítica.....	72
Similitudes principales.....	72
Diferencias tecnológicas y metodológicas.....	74
Avances, vacíos y tendencias metodológicas actuales.....	76
Identificación de vacíos y oportunidades.....	78
Observaciones de la investigación.....	81
Referencias Bibliográficas.....	83

Tablas

Tabla 1. Proyección de Demanda de generación de energía y potencia 2025-2030.....	12
--	----

Lista de figuras

Figura 1. Proceso metodológico del proceso de investigación y análisis de información.....	17
Figura 2. Arquitectura general del Internet de las Cosas y sus capas de funcionamiento.....	40
Figura 3. Crecimiento de la capacidad de producción de energía renovable por país o región.....	52
Figura 4. World Population Prospects 2024.....	55
Figura 5. Evaluación AILA Colombia en las 3 dimensiones.....	57
Figura 6. Evaluación AILA indicadores externos de la dimensión de Gobierno como Habilitador.....	58
Figura 7. Evaluación AILA resultados de Gobierno como usuarios de la IA.....	59

Resumen

El presente proyecto tiene por objetivo evaluar las diferentes soluciones basadas en IoT, Inteligencia Artificial y Big Data, que puedan ser utilizadas como un sistema de gestión de energía inteligente y utilizado en Colombia en los años 2025-2030, inicialmente su propósito es analizar las diferentes técnicas, las variables económicas y sociales que se deben tener en cuenta para integrar tecnologías inteligentes en los hogares colombianos con el fin de gestionar el consumo energético. El punto de partida es una revisión exhaustiva de diferentes proyectos nacionales e internacionales, en términos generales y reduciendo los resultados se evidenció que, aunque la combinación de IoT, IA y Big Data permite minimizar los consumos entre un 15 % y un 35 % en diversos entornos, en Colombia se presentan vacíos en inteligencia artificial, conectividad, ciberseguridad, ayudas económicas y adaptación normativa.

Una vez culminado el presente estudio, con un enfoque exploratorio y analítico se espera que permita identificar los puntos críticos necesarios para realizar la adopción, el posible ahorro y a su vez las implicaciones regulatorias o legales de estas tecnologías en el entorno doméstico Colombiano. Se estudiarán diferentes modelos conceptuales y un grupo de orientaciones técnicas que enfoquen la implementación de los sistemas inteligentes en estudio, objetivamente hablando se propondrán los diferentes vacíos teóricos y posibles problemas que la transición del país deberá resolver para ser más sostenible y alinearse con los objetivos de desarrollo energético y digital de la agenda interna en el periodo comprendido entre el 2025 hasta 2030.

Abstract

The present project aims to evaluate various solutions based on IoT, Artificial Intelligence, and Big Data that can be used as an intelligent energy management system in Colombia during the years 2025–2030. Its initial purpose is to analyze the different techniques, as well as the economic and social variables that must be considered when integrating smart technologies into Colombian households to manage energy consumption. The starting point is an exhaustive review of several national and international projects. In general terms, and after narrowing down the results, it was found that although the combination of IoT, AI, and Big Data can reduce energy consumption by 15% to 35% in different environments, Colombia still faces gaps in artificial intelligence, connectivity, cybersecurity, financial incentives, and regulatory adaptation.

Once this study is completed, with an exploratory and analytical approach, it is expected to identify the critical factors necessary for adoption, the potential savings, and the regulatory or legal implications of these technologies in the Colombian domestic environment. Different conceptual models and a set of technical guidelines will be examined to guide the implementation of the intelligent systems under study. Objectively, the project will propose the existing theoretical gaps and possible challenges that the country must address in order to become more sustainable and align with the energy and digital development objectives of the national agenda for the period between 2025 and 2030.

Generalidades de la Investigación

Descripción del Problema

La incorporación de los paneles solares, el esparcimiento de la producción de energías limpias, el creciente acceso que tiene la población a este tipo de tecnologías en los mercados locales han permitido que los hogares generen y utilicen su propia energía con relativamente pocos requisitos técnicos y de formación. Aun así, aunque resulta posible producir energía solar en los hogares y adoptarla en la red eléctrica, esta producción no alcanza a cubrir por completo la demanda y en muchos casos el costo continúa siendo bastante elevado para gran parte de la población colombiana. Si bien se trata de un progreso importante para la agenda energética nacional, surgen nuevos desafíos relacionados con la infraestructura, el apartado técnico, el mantenimiento y la necesidad de establecer negociaciones justas con las entidades generadoras de energía.

Tomando en cuenta lo anterior, surgen diferentes desafíos como, contar con sistemas que administren de manera eficiente la energía generada y también consumida, considerando entonces las fluctuaciones en la producción y las redes de transporte de la energía, las cuales se verían afectadas por fenómenos tales como el movimiento de la Tierra alrededor del Sol y sobre su propio eje, la lluvia, las nubes y la contaminación (IEA, 2024). Sumado a esto, existen efectos percibidos en un grado menor que se espera abordar en un enfoque teórico durante el desarrollo del proyecto. Esto plantea diferentes retos para las compañías eléctricas, la generación fotovoltaica residencial, rural y en ciudades que dependen de un delicado equilibrio para su correcto funcionamiento de la red eléctrica y las subestaciones.

La seguridad informática hoy en día es un aspecto al cual se le debe dar prioridad y en el presente contexto es altamente relevante, en el presente 2025, las principales inversiones que se encuentran en el sector energético se concentran en redes eléctricas, almacenamiento y distribución, por ende el desarrollo de tecnologías de comunicación en este sector deja expuesto el control de la energía a posibles ciberataques (IEA, 2024). Es un problema complejo que se abordaría desde el desarrollo del software hasta las redes. Del mismo modo, es imperativo que las comunicaciones en subestaciones y plantas eléctricas sean seguras en un contexto en el que la eficiencia es en un todo vital, y así poder garantizar la seguridad eléctrica adecuada y un suministro confiable en las zonas urbanas y rurales.

Las diferencias políticas que hay entre naciones así como conflictos en Oriente Medio y la guerra entre Ucrania y Rusia, generan grandes fluctuaciones en los mercados energéticos globales en especial fuentes de energía térmica y los combustibles, según especifica la IEA (2024). Desde principios de 2023, los diferentes efectos que causa la crisis energética son evidentes, por tanto con las muchas tensiones adicionales que se generan y las afectaciones pueden ser aún más graves.

Formulación del problema

Lo expuesto con anterioridad conduce a la formulación de la siguiente pregunta a investigar, ¿cuál es el potencial, tanto en los diferentes beneficios como retos, que resultaría de implementar sistemas de administración de energía en hogares colombianos, desde el desarrollo, la estructuración e implementación de tecnologías IoT, IA y Big Data en el periodo 2025-2030?

Justificación y antecedentes

Durante el desarrollo de la investigación acerca de los posibles impactos y las diferentes perspectivas de la implementación de dispositivos IoT y software orientado a la administración de la energía en el hogar Colombiano, adquiere importancia si se toma desde el enfoque de la situación energética nacional, el Boletín Estadístico de Minas y Energía 2020–2024 (S1) de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) da una visión clara.

La generación de energía a nivel país que se obtiene de la suma entre todos los departamentos que conforman el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia, durante el año 2024 la producción fue de 83.264,2 GWh. Esta producción total dividida de acuerdo a la fuente de generación sería de 54.504,2 GWh que provienen de diferentes fuentes hídricas con un 65,4 % del total generado, la producción térmica toma un papel secundario con 24.479,2 GWh que equivale a 29,4 % del total, en tercer lugar la cogeneración aportó 835,6 GWh con un 1%. En un papel menos importante o poco explotado, las energías renovables como la solar con 3.296,4 GWh y eólica 148,8 GWh sumaron 3.445,2 GWh, aunque significativo sólo equivalen a aproximadamente el 4,1 % de la generación total del país en el año 2024. (p. 22). (UPME, 2025a).

Sumado al análisis de la producción de energía, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) en el 2024 disponía de una potencia máxima instalada de 20.793,3 MW, que sumaba la capacidad productiva proveniente de todas sus fuentes. Este valor sobrepasa ampliamente la demanda máxima medida en el mismo año que fue de 11.704,4 MW (UPME, 2025a). Aun así, no es posible disponer efectivamente de toda la potencia instalada en todo momento, existen limitaciones asociadas a diversos factores que sumados pueden afectar el resultado

esperado. Entre los muchos factores se destacan las condiciones ambientales adversas tales como las sequías, estas reducen la disponibilidad hídrica que hay en las represas y diferentes fuentes hídricas, la dependencia de combustibles fósiles está sujeta y afectada por la volatilidad de los precios internacionales y la producción, las restricciones logísticas también afectan el suministro de carbón y gas, conformando un conjunto de adversidades, las condiciones climáticas toman un papel principal una vez se continúe con el cumplimiento de la agenda nacional y el país pase a la generación de energía por medio de fuentes renovables.

Por estas razones, resulta fundamental no esperar contar con que la totalidad de la potencia máxima del SIN está disponible en todo momento, en contraste la administración eficiente de la energía producida podría atenuar la necesidad de contar con esta producción total, esto permitirá garantizar la continuidad del suministro sin depender exclusivamente de la capacidad máxima de generación de energía que tiene el SIN. Por consiguiente en la Tabla 1 se presentan las demandas de energía proyectadas para los próximos cinco años, construida a partir de la información publicada por la UPME (2025a).

Tabla 1. *Proyección de Demanda de generación de energía y potencia 2025-2030.*

Año	Demanda de energía (GWh)	Demanda de potencia (MW)
2025	85.544	12.265
2026	89.253	12.761
2027	91.289	13.004
2028	93.342	13.222
2029	95.790	13.504
2030	97.682	13.708

Nota. Elaboración propia a partir de datos de UPME (2025a).

En la Tabla 1 se observa que la demanda de potencia para los próximos años continuará siendo inferior a la capacidad instalada que tiene el país de 20.793,3 MW, aun así las afectaciones climáticas, el crecimiento y el desarrollo poblacional toman una instancia relevante para las investigaciones de energía eléctrica como combustible, esto puede cambiar las proyecciones realizadas para los próximos años.

Como complemento de la información mencionada y dando una idea de la segmentación del país, se sabe por los gráficos del informe que el 56 % de la producción del sistema SIN se concentra en los departamentos de Antioquia con un 33 % de la producción total de la energía del país, el departamento de Cundinamarca con un 13 % y el Atlántico con un 10 %, de acuerdo al informe de la UPME, aunque sumando el 44% si se divide en las otras zonas del país en términos porcentuales no alcanzan el 10% de la producción total de forma individual. UPME(2025a). Se evidencia que un 56% de la producción energética se encuentra en zonas centrales, esto hace necesario que el país cuente con empresas u operadores que distribuyen la energía en el país.

Gracias a una infraestructura robusta que incluye torres de energía, líneas de alta tensión y subestaciones eléctricas ubicadas en el montañoso territorio, se amplía para realizar la cobertura nacional del sistema eléctrico, por otro lado, dentro de los departamentos que requieren la mayor cantidad de energía se encuentran Cundinamarca incluyendo Bogotá D.C., el departamento de Antioquia, Santander, Valle del Cauca y Córdoba. Por consiguiente la concentración del consumo se observa en las regiones con una mayor densidad poblacional e intensa actividad industrial y comercial (UPME, 2025a). Considerando lo anterior, las ciudades de estos departamentos presentan escenarios idóneos para implementar proyectos piloto basados en IoT y software para la administración de energía, ya que no sólo presentan

una alta demanda de electricidad, también pueden ofrecer las condiciones para recopilar y analizar grandes volúmenes de información.

Por otro lado la expansión en la capacidad de potencia total del país, el boletín relaciona los proyectos inscritos en la UPME (2020–2024), los cuales se centran en tecnologías como la solar con 30.744,6 MW de potencia y un total de 1.101 proyectos, la producción hidráulica 26.339,5 MW de potencia y un total de 521 proyectos, las energías térmica, eólica, biomasa y la producción geotermia tienen una participación menor. La distribución territorial de los proyectos menciona los departamentos con más proyectos registrados que son Antioquia con 279 proyectos, Valle del Cauca con 147 proyectos y Tolima con 137 proyectos (UPME, 2025a), en total se tienen 1.675 proyectos registrados los cuales suman cerca de 81.872,9 MW de potencia aproximada que se sumaría a la capacidad actual del país.

Las anteriores evidencias justifican la investigación propuesta ya que, la gestión doméstica de la energía mediante IoT y el uso de software contribuye a la racionalización de la demanda (reducción de picos y desplazamiento de carga), disminuir el uso de reservas térmicas durante periodos hidrológicos de escasez, además de reducir la necesidad de importaciones energéticas. Sumado a esto, la fuerte presencia de proyectos renovables especialmente solares, los hogares con administración inteligente permitirán la integración segura y adaptable.

Objetivos

Objetivo general:

Analizar el potencial impacto que conlleva la implementación de un sistema integral de administración energética basado en tecnologías IoT, software e inteligencia artificial con Big Data en el consumo energético de los hogares colombianos, mediante un estudio exploratorio de literatura científica sobre sus componentes, aplicaciones, beneficios y desafíos.

Objetivos específicos:

1. Examinar las diferentes fuentes documentales, estudios previos nacionales e internacionales que hagan uso o simulen el comportamiento de las tecnologías IoT, además de integrar software de lectura y las herramientas basadas en inteligencia artificial con Big Data que se apliquen a la administración de energía.
2. Determinar y proponer diferentes estrategias a los escenarios identificados que permitan la superación de los desafíos técnicos, las variables económicas y las regulaciones del país asociadas con la implementación de tecnologías para la gestión energética en los hogares colombianos.
3. Identificar los diferentes beneficios tanto económicos como funcionales de los sistemas de administración energética, que traerá la integración de estas iniciativas en los hogares Colombianos, a su vez la contribución tanto a los proyectos de la agenda energética nacional como al bienestar.

Metodología de Investigación

El enfoque de estudio será de tipo exploratorio y cualitativo, estará centrado en la interpretación y estudio de diferentes fuentes, se buscará tener un compendio de estudios e información científica variado, proyectos de grado y revistas científicas relacionadas con la administración y gestión de energía. Las técnicas utilizadas y propuestas que serán encontradas en los proyectos serán relacionadas con la información relevante para su apropiada interpretación y entendimiento. El enfoque será con base en tecnologías que desarrollen o empleen el Internet de las Cosas (IoT), software especializado en administración de energías, inteligencia artificial (IA) con proyecciones basadas en Big Data.

Durante la investigación se realizaron búsquedas en repositorios académicos de diferentes universidades nacionales e internacionales, también en software de búsqueda automático que fueron Google Scholar, Gemini, Redalyc, Scielo, a su vez se consultaron informes de organismos internacionales como la Agencia Internacional de Energía (IEA), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y fuentes oficiales del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, este último aportó información relevante en cuanto a la planificación y estado actual del país, los filtros de tiempo se tendrán se establecen para solo tener en cuenta los textos publicados entre los años 2016 y 2025 con el fin de asegurar las últimas teorías y avances de los enfoques tecnológicos, la herramienta notebookLM será usada para relacionar los proyectos y diferentes fuentes de información.

El análisis se hizo basado en tres ejes que corresponden principalmente a los objetivos específicos del estudio, las diferentes tecnologías aplicadas a la administración energética, se definirán y tomaran ejemplos de las principales herramientas IoT, los distintos software de monitoreo, conceptos de diseño para redes eléctricas y plataformas de IA para análisis de

datos aplicadas al ahorro energético. Por otro lado los impactos potenciales en Colombia: se recopiló evidencia de casos de estudio, proyectos de grado que aplicarán y desarrollarán las herramientas tecnológicas mencionadas, se revisaron los planes de desarrollo energético que tiene el país y a grandes rasgos el mundo en la agenda energética..

En cuanto a las barreras y desafíos para la implementación, se exploraron documentos técnicos y regulatorios para identificar limitaciones tecnológicas, económicas y legales, así como plantear propuestas para su mitigación en el contexto colombiano, con base en este método se espera tener un panorama general y cumplir con los objetivos propuestos en el estudio, favoreciendo la identificación de tendencias, beneficios y riesgos. En concordancia, la metodología seleccionada espera se coherente con la naturaleza teórica del estudio y con su propósito analítico y propositivo.



Figura 1. *Proceso metodológico del proceso de investigación y análisis de información*

Fuente: Elaboración propuesta por asesor de proyecto de grado, Javier Alberto Saldarriaga Cano, 2025.

En la figura 1 se presenta un diagrama que sintetiza las etapas principales del proceso metodológico aplicado, este esquema permitirá visualizar de manera clara y en forma

secuencial las fases desarrolladas, desde la definición del problema y la búsqueda detallada de la información, hasta el análisis comparativo e interrelacionado y al finalizar el desarrollo de las conclusiones. El diagrama sirve como guía para el enfoque exploratorio y cualitativo adoptado, para facilitar la comprensión del procedimiento seguido para alcanzar los objetivos propuestos.

Marco de Referencia

Antecedentes

A continuación se procederá a listar y revisar proyectos, que aplicaron como antecedentes para el desarrollo del proyecto actual, se hará un breve de resumen de la temática tratada, sus principales herramientas y sus aportes, además de todas aquellos resultados que se consideren favorables para la revisión documental y sus resultados.

Sistema de Monitoreo de Señales Eléctricas y Control Automático Para Eficiencia Energética con Integración IoT

De el proyecto que realizó Barragán-Charry et al. (2022), en colaboración con la empresa Vatia S.A. E.S.P., se propone hacer un sistema de monitoreo y un control automatizado que se basa en tecnologías IoT, se orienta a la eficiencia energética. Esta iniciativa hace uso de procesos de telemetría y análisis de datos haciendo uso de Big Data para registrar y gestionar el uso energético en tiempo real, permite de esta forma generar reportes y programar alertas automáticas a través de software especializado para estos procesos.

El principal aporte o al menos el aporte central del proyecto es la creación de una plataforma

modular para la gestión energética, se compone por unidades de medición remota y un sistema de control que sea capaz de interactuar con dispositivos distribuidos, este enfoque prioriza la interoperabilidad, su escalabilidad y gran accesibilidad, los factores clave para su adopción en residencias y empresas que presenten un consumo medio y bajo.

Durante el proyecto muestra la viabilidad tanto técnica como económica del uso de tecnologías IoT en la gestión energética, se evidencia el potencial de estas soluciones para mejorar la uso eficiente y facilitar la transición hacia redes eléctricas inteligentes, su posible implementación práctica constituye un antecedente relevante para el desarrollo de sistemas domésticos de gestión energética basados en IoT, inteligencia artificial con el uso de Big Data.

Sistema Embebido Para la Gestión Energética Basado en Tecnología IoT y Servicios Cloud

Dentro del proyecto de grado desarrollado por Sánchez Valdés (2023) en la Universidad de Alicante, tuvo como propósito diseñar e implementar un sistema embebido para la administración del consumo energético, este integra tecnologías del Internet de las Cosas junto con servicios en la nube, el trabajo se clasifica dentro del contexto de la Industria 4.0 y las Smart Homes, que busca mejorar la eficiencia mediante el monitoreo y el control inteligente de redes eléctricas trifásicas.

Propone emplear un Raspberry Pi 3 como dispositivo embebido principal, esta se encargará de la lectura de datos del flujo energético a través de un conversor analógico-digital (ADC) y su posteriormente enviarlo a la nube mediante el protocolo HTTP y el uso de la biblioteca Requests de Python. La información se almacena en la plataforma Ubidots, que

permitirá graficar, almacenar y posteriormente generar eventos automatizados para la toma de decisiones sea remota o local. Como valor complementario el sistema cuenta con un mecanismo que usa archivos CSV para respaldar la información, previniendo problemas de continuidad de los registros en caso de interrupciones de comunicación a Internet.

La metodología, el autor optó por adoptar un enfoque de desarrollo de software basado en prototipos e iteraciones, el sistema fue estructurado en una arquitectura por capas que comprende el dispositivo, las comunicaciones, el almacenamiento en la nube y la posterior visualización, lo que le permitió integrar de manera eficiente la captura, procesamiento y presentación de los datos adquiridos.

En si los resultados arrojados por el sistema que, alcanzó una eficiencia funcional del 95 % cumpliendo con los objetivos de lectura, el tratamiento y gestión de datos en la nube. A su vez, este sistema demostró su bajo costo de implementación y potencial de despliegue a gran escala hacia sistemas tanto domésticos como industriales. En este el autor propuso como posibles mejoras futuras la ampliación de la interoperabilidad mediante MQTT, la adición de actuadores para automatizar respuestas ante cambios o picos de consumo y el uso de formatos de datos alternativos como JSON o formato plano.

Análisis e implementación de controladores software para la integración y monitorización de sensores en plataforma de internet of things

El proyecto de García Gómez-Pinto (2019), el cual fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid, expone la creación de un sistema de IoT que se orienta a la integración, el monitoreo y control remoto de grupos de sensores en redes inalámbricas. La

propuesta busca superar los limitantes que presentan los sistemas industriales tradicionales rígidos, que se encuentran locales y poco escalables a una industria global mediante una arquitectura flexible y de tipo modular, basada en comunicación ZigBee, el uso de un gateway Raspberry Pi 3 Model B+ y una plataforma en la nube para almacenamiento.

Las tres capas funcionales en las cuales se organiza el sistema serían, una red de sensores que adquiere los datos, un gateway encargado de entablar la comunicación y la transferencia de información a través del protocolo UART, y una plataforma ThingSpeak que se conforma de dispositivos IoT que posibilita la visualización, el almacenaje y el control remoto de la información en tiempo real. Algunas de las principales características del proyecto serían la posibilidad de reconfigurar dinámicamente la red, la posibilidad de funcionar independientemente o en grupos que tendrían los dispositivos, el pago de los sistemas a una escala mayor y la capacidad de realizar mantenimiento predictivo o programado a partir del análisis de datos.

Experimentalmente hablando se confirmó la viabilidad funcional de la arquitectura propuesta, les fue posible demostrar la comunicación bidireccional, la adaptación activa ante cambios en la red y el control y acceso remoto a la información desde y hacia la nube, por consiguiente este proyecto constituye como un referente en el uso de tecnologías IoT de bajo costo y que alcanzan una alta eficiencia, dando puntos de partida y bases para el avance de la automatización industrial y el mejor uso de la energía, así como dar pie y bases para su uso en futuros desarrollos que puedan ser domésticos o industriales, usando sistemas inteligentes y software de administración energética.

Diseño y Evaluación mediante Software de Simulación una Red IoT que Permita el Control y Monitoreo en Tiempo Real

El desarrollo del proyecto realizado por Castillo Ruiz (2022), se realizó con el propósito de diseñar y por ende evaluar una red de Internet de las Cosas para su aplicación en hogares inteligentes, mediante el uso de software de simulación para resultados teóricos, con el fin de evaluar el comportamiento, el control y el monitoreo en tiempo real de dispositivos encontrados al interior de los hogares, El proceso de investigación lo fundamentó en una revisión bibliográfica sobre los avances en IoT de otros investigadores, las redes y entornos simulados, así como una base en el estudio de las características técnicas y operativas con las que deben contar las casas inteligentes.

Se empleó el simulador Cisco Packet Tracer como herramienta primaria, dentro del proyecto parece pertinente de acuerdo a las especificaciones por su capacidad para reproducir escenarios reales y modelar redes locales con un alto grado de complejidad, la posibilidad emular servicios IoT, entre algunas conexiones móviles, para realizar el diseño se usó una configuración de una red IoT que compone una red doméstica, la integración con una nube de Internet simulada, el servidor para dispositivos IoT y una red celular, al interconectar dispositivos que permitan el acceso tanto local como remoto, complementariamente se desarrolló un modelo tridimensional de una vivienda para analizar la disposición de sensores, ubicación de los actuadores y posibles ubicaciones de los sistemas inteligentes, se tuvieron en consideración variables como temperatura, la iluminación y como proceso subjetivo la seguridad.

Dentro del sistema se contemplaron diferentes submódulos funcionales como la iluminación, cámaras de seguridad, dispositivos de detección de incendios, controles de

puertas y ventanas automáticos, junto con otras rutinas automatizadas que se adaptan a las actividades del usuario como periodos de sueño, tiempo de uso del baño, tiempo de trabajo o reuniones y la apertura de la puerta de la cochera, con estas simulaciones fue posible evaluar el desempeño de la red en condiciones casi realistas, se verificó la comunicación entre dispositivos y las posibles respuestas ante eventos programados.

Entre los diferentes resultados se comprobó la eficiencia del modelo simulado que representaba redes residenciales IoT, la optimización de la conectividad y el posible control remoto de dispositivos, dentro del estudio se resaltó el valor del entrenamiento y la aproximada simulación virtual como fases iniciales esenciales para la futura implementación real de estos sistemas, dentro de los resultados se recomienda la integración de mecanismos de seguridad para garantizar confiabilidad y el continuo funcionamiento de los dispositivos.

Análisis del consumo de energía promedio en dispositivos IoT de baja potencia con Blockchain como solución de seguridad

El proyecto propuesto por Fattori de Andrade (2019), propone analizar el consumo energético promedio de los dispositivos IoT de baja potencia, posteriormente evalúa la posible incorporación de Blockchain como mecanismo de seguridad y trazabilidad de datos en redes, esta investigación surge ante la preocupación que generan las diferentes vulnerabilidades que vienen asociadas al uso de los dispositivos conectados, la falencia en la administración energética durante los procesos de comunicación dentro de los entornos IoT, especialmente aquellos que se basan en microcontroladores y nodos de bajo consumo.

Se plantea como un estudio experimental que compara diferentes configuraciones de

nodos IoT, haciendo uso de esquemas comunes de transmisión e integrando una capa de seguridad Blockchain en el proceso, adapta microcontroladores ESP8266 y Raspberry Pi con sensores de medición de voltaje y corriente, dentro de un entorno de simulación diseñado para medir el impacto del procesamiento criptográfico y su impacto sobre el consumo total de energía, dentro de los parámetros analizados se incluyen la potencia media, la duración de las transmisiones y el costo de estas en términos energéticos que conlleva la validación de bloques dentro de la cadena.

Los resultados arrojaron que con la implementación de Blockchain, si bien se puede observar un notable incremento de la seguridad y fiabilidad de los datos, se ve también incrementado el consumo energético entre un 8 % y un 15 % al compararse con un sistema IoT que no haga uso de los sistemas de seguridad adicionales, aunque se observó que la implementación de los protocolos ligeros y arquitecturas combinadas permiten mantener la eficiencia y capacidad de la tecnología en aplicaciones de bajo consumo, este también resalta durante el desarrollo del estudio que la elección de los algoritmos de consenso, junto con la longitud de los bloques de datos son factores determinantes que faciliten equilibrar la seguridad a la eficiencia energética en redes IoT.

Se constituye como un antecedente técnico importante para el desarrollo de la presente investigación, ya que al establecer una relación directa entre el uso eficiente de energía de los dispositivos IoT y la necesidad de soluciones de seguridad eficientes en entornos extensos, además de su enfoque experimental facilita fundamentos valiosos para entender las limitaciones estructurales de las redes IoT llevado a los medidores de consumo propio del sistema y su seguridad, sirve a su vez como base para desarrollos posteriores enfocados en la administración del consumo energético de los IoT y los protocolos de

comunicación.

Sistema de monitoreo del suministro eléctrico de un dispositivo de video-vigilancia utilizando tecnologías del Internet de las Cosas

La propuesta que hace Rodríguez (2023) en el proyecto desarrollado en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, espera establecer con su diseño y montaje, un sistema de monitoreo para la alimentación eléctrica de dispositivos de videovigilancia, este sistema se basará en tecnologías del Internet de las Cosas y se elabora ante la necesidad de que los dispositivos de seguridad con base en video funcionen continuamente, su funcionamiento se espera desplegar en entornos urbanos y su funcionamiento continúe aún sin suministro eléctrico convencional, como contexto las continuas interrupciones eléctricas y la ausencia de monitoreo pueden poner en riesgo tanto la funcionalidad del sistema como el control.

La arquitectura IoT que se desarrolló en el proyecto funciona como medio que permite medir, enviar información para almacenar y posteriormente analizarla, con el fin de conocer el comportamiento energético de un sistema de videovigilancia mediante sensores conectados a una placa ESP32, esta placa se encargará de recopilar datos sobre voltaje, corriente y consumo total, la información resultante es transmitida haciendo uso del protocolo MQTT para ser transmitida hacia una base de datos en un servidor local, se usa la una interfaz web que facilita el seguimiento en tiempo real, se integran alertas automáticas configuradas que detectan caídas de tensión o sobreconsumos, el sistema espera generar una respuesta oportuna ante posibles fallas.

En etapa inicial, se instaló el prototipo en un entorno urbano de la ciudad de Bogotá

demostrando una alta eficiencia operativa, la estabilidad en la transmisión de datos fue la esperada con una precisión de medición superior al 90 %, por otro lado el tiempo de respuesta promedio fue inferior a dos segundos, dentro de los resultados se evidenció que el monitoreo inteligente contribuye como mejoría de la administración energética en los sistemas de videovigilancia, como resultado reduciendo el desperdicio asociado a fallas o sobrecargas eléctricas, el proyecto también señala que en Colombia el desarrollo de los emprendimientos que usan IoT en la gestión energética sigue siendo limitada, debido a esta falta de incentivos, la escasa infraestructura tecnológica y la débil articulación entre estudios y despliegue industrial.

La contribución de este trabajo da como resultado un referente nacional, relevante en sí mismo por incorporar tecnologías IoT en la administración de la energía y la integración de sistemas de energía renovable a pequeña escala, pese a que su aplicación se enfoca en sistemas de videovigilancia, la metodología y los resultados son transmisibles a otros contextos domésticos y residenciales, se evidencia el potencial del IoT para reducir el consumo eléctrico acoplado a las tecnologías disponibles en Colombia, la importancia de este proyecto expone la brecha tecnológica existente en el país, reforzando la pertinencia de la presente investigación sobre los impactos y perspectivas del uso de IoT, protocolos de transmisión y software para la gestión de energía además del tratamiento de datos.

Sistema IoT para seguimiento e identificación de activos en interiores

El trabajo propuesto por Avellaneda (2022) expone un diseño e implementación de un sistema basado en IoT para el seguimiento e identificación de activos en interiores, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad de recursos a través de entornos

institucionales o corporativos, esta propuesta se enmarca dentro del desarrollo de espacios inteligentes, donde la visualización en tiempo real de los activos contribuye a reducir pérdidas, optimizando procesos y por tanto de manera indirecta reducir el uso de recursos.

Propone un sistema que emplea etiquetas activas BLE (Bluetooth Low Energy), además del uso de lectores distribuidos estratégicamente que se comunican por medio de un gateway IoT, que se encarga de recopilar los datos de localización y estado de los activos, estos datos serán transmitidos hacia una plataforma en la nube o servidor local para su posterior análisis o visualización en tiempo real, por medio de la utilización de protocolos MQTT y una base de datos no relacional para el almacenamiento histórico, la fase experimental se realizó en una instalación piloto bajo parámetros de un entorno universitario, donde fueron medidas variables como latencia de localización, establecer la precisión de detección, la cantidad de eventos registrados y tiempo de respuesta ante alertas.

Dentro de los resultados obtenidos, se mostraron una precisión de localización cercana al 90 %, la latencia se registró inferior a un segundo y una reducción significativa de eventos de pérdida o mal uso de activos, a su vez se identificaron limitaciones en la cobertura dentro de espacios con obstáculos estructurales como muros metálicos o zonas cerradas, también se identificó la necesidad de una calibración periódica para mantener la exactitud del sistema, el estudio no aborda directamente la gestión energética, pero el autor destaca que el monitoreo inteligente de activos puede impactar positivamente en otros campos, al minimizar el consumo derivado de mantenimientos innecesarios, búsqueda manual o reemplazos prematuros.

Este proyecto representa un antecedente importante para la investigación, esto se debe

a que al demostrar la aplicabilidad de tecnologías IoT en entornos reales y siendo usados para actividades de gestión y control, además de su enfoque orientado a la visibilidad, la comunicación y la administración eficiente de dispositivos, complementa la perspectiva de administración energética.

Técnicas de inteligencia artificial y Big Data en la gestión óptima de parques fotovoltaicos:

Estado del arte

La investigación desarrollada por Morán Corbacho (2021) hace una revisión exhaustiva del estado del arte, que toma profundidad al enfatizar en las diferentes aplicaciones de técnicas usadas en la inteligencia artificial que, al ser usadas junto con Big Data y enfocadas principalmente en la administración de parques fotovoltaicos, logren desarrollar resultados favorables, que a su vez tengan como su principal objetivo tratar de identificar cómo estas tecnologías contribuyen a mejorar la operación, el mantenimiento y la generación de energía en sistemas solares, realizando un el análisis comparativo de múltiples investigaciones recientes.

Se realizó la revisión de forma individual de una gran cantidad de documentación científica, donde se incluyó artículos o reportes de conferencias, también tesis de grado y haciendo uso de los criterios de selección que fueron principalmente centrados en temas relacionados con la generación fotovoltaica, procesos de predicción de rendimiento, la detección de fallos y el registro de datos en tiempo real, en esto consistió principalmente la metodología planteada, al mismo tiempo el investigador examinó diversas técnicas de aprendizaje automático, entre ellas el uso de redes neuronales artificiales, los árboles para toma de decisión y el aprendizaje profundo, en muchos de los casos que fueran aplicadas al

análisis de variables críticas como la irradiancia, la medición de la temperatura, eficiencia de los paneles y estado de mantenimiento preventivo.

Se pueden destacar entre los diferentes hallazgos encontrados en el proyecto algunos muy significativos como, la integración de IA con Big Data permite en gran medida reducir pérdidas de producción, a su vez que mejora las predicciones de la generación eléctrica y la programación del mantenimiento preventivo, aun así se presentan unos desafíos importantes, como la calidad y disponibilidad de los datos, la compatibilidad de los sistemas así como las dificultades de despliegue en entornos reales y los altos costos, en el proyecto se concluye que estas tecnologías suponen un cambio transformador en la gestión de dispositivos, aunque su adopción a gran escala exige cambios en las regulaciones que sean adecuados y procesos de estandarización tecnológica.

En general la investigación constituye un antecedente importante para el desarrollo de la presente investigación, ya que además de integrar de manera sólida los principios de IA con Big Data en el ámbito de las energías renovables, el enfoque del estudio aporta bases tanto conceptuales como técnicas que pueden ser directamente aplicables a la gestión energética en hogares e industria haciendo uso de IoT, al mismo tiempo proporcionando un marco comparativo para analizar los desafíos de la digitalización energética contemporánea.

Sistema de control de luminarias y aires acondicionados y monitoreo de energía eléctrica y temperatura de aulas del edificio de posgrados de la Universidad Libre Seccional Cúcuta

Dentro del proyecto desarrollado por Granados Guerrero y Duarte Rubio (2021) se propone la puesta en marcha de un sistema de control y medición, que espera cumplir con el

objetivo de minimizar el consumo eléctrico del sistema de iluminación y los equipos de aire acondicionado usando como intermediario la integración de tecnologías IoT, si el objetivo se cumple con éxito el resultado generará una baja notable en el consumo de energía en un entorno académico controlado.

Por medio de la combinación de dispositivos que son de tipo Arduino UNO y otros de tipo ESP8266 que trabajando en conjunto con módulos de comunicación, harán posible transmitir la información recopilada en tiempo real, los datos enviados serán de consumo y condiciones ambientales, una vez recibidos los datos una plataforma central hará uso de una interfaz interactiva para mostrar la información procesada, esta información será usada por los usuarios para evaluar el estado de los dispositivos y haciendo uso de reportes se aplicarán ajustes automáticos o manuales según la ocupación y la temperatura de cada aula, el proyecto físico fue desplegado en tiempo real sobre las aulas del edificio de posgrados de la Universidad Libre de la Seccional Cúcuta.

Dentro de los resultados arrojados por el proyecto la mayoría fueron visiblemente positivos en cuanto a la reducción significativa del consumo energético, fue especialmente efectivo en los sistemas de climatización, gracias a que la automatización de encendido y apagado se programó en función de las condiciones del entorno y la presencia de personas, además el sistema permitió identificar patrones de uso ineficiente, por ende se establecieron políticas de control energético adaptadas al horario académico y a la ocupación de los espacios en ciertos horarios.

Este antecedente es aún más relevante para el presente trabajo que los anteriores mencionados, al mostrar con datos reales la viabilidad técnica y económica de desplegar

tecnologías IoT, que sobresalen en la administración energética y el control de las funcionalidades tecnológicas al interior de las instituciones educativas en Colombia, la propuesta de combinar sensórica al conjunto de tecnologías que se han evaluado en otros proyectos, que se complementan con la automatización y análisis de datos como estrategias clave para la adaptación de estas propuestas al campo real.

Trayectoria normativa de la inteligencia artificial en los países de Latinoamérica con un marco jurídico para la protección de datos: Límites y posibilidades de las políticas integradoras

El estudio realizado por Veronese y Nunes Lopes Espiñeira (2021), analiza las diferentes trayectorias normativas y los marcos regulatorios aplicables o asociados a la inteligencia artificial en diversos países de América Latina, se hace especial énfasis en la protección de datos personales y los derechos con los que cuentan los ciudadanos frente al uso de tecnologías automatizadas, los autores toman un gran campo de comparación teniendo en cuenta los avances legislativos y las estrategias nacionales de IA de Argentina, Uruguay, Colombia, México, Chile y Brasil, donde buscan identificar los retos que tienen en común en materia de regulación y gobernanza tecnológica.

Partiendo de una metodología cualitativa comparativa, el desarrollo del estudio realiza la revisión de la documentación de diferentes leyes, interpretando las políticas públicas y las estrategias nacionales que se tienen y aplican al uso de IA, de esta forma se construyen categorías analíticas que se relacionan con la existencia de autoridades de supervisión, derechos digitales y políticas de protección de datos, dentro del documento los autores presentan una tabla comparativa que muestra el nivel de desarrollo normativo en cada región,

lo que permite observar los contrastes entre países con marcos consolidados, identificando posibles vacíos legales y políticos.

Estos resultados arrojaron diferentes observaciones sobre el panorama general, si bien la mayoría de los países latinoamericanos cuentan con leyes de protección de datos, estas tienen la tendencia de no incorporar de manera explícita las disposiciones sobre IA, además de no tomar en cuenta la toma de decisiones automatizadas, lo que genera brechas de protección y falta de transparencia, el estudio concluye que la región latinoamericana necesita fortalecer sus marcos regulatorios, que permitan crear mecanismos efectivos de supervisión y promover la participación ciudadana para que contribuya a la formulación de políticas tecnológicas.

Los resultados obtenidos constituyen una referencia clave para el marco normativo de la investigación en curso, puesto que permite comprender las limitaciones regulatorias que actualmente condicionan la adopción de tecnologías basadas en IA y dispositivos IoT en Colombia, a su vez enfatiza la necesidad de que las políticas integradoras se equilibren con la innovación, con los derechos digitales y con la sostenibilidad tecnológica.

Implementación de un sistema IoT-Cloud para el ahorro de agua y energía en el hogar

En el desarrollo del proyecto académico hecho por Escobar Carrillo, Giraldo García & Ramírez Castiblanco (2023) de la Universidad Santo Tomás, que se compone de un sistema de módulos IoT conectados mediante redes Wi-Fi, que serán los encargados de registrar parámetros tanto de uso energía como de la medición del flujo de agua, los datos generados serán procesados por medio de una plataforma en la nube, la cual permitirá la visualización

mediante tablas e informes que serán visualizables desde dispositivos móviles.

El sistema hará uso de microcontroladores de tipo ESP8266, que trabajando en conjunto con sensores de corriente y los medidores del caudal del agua, además de hacer uso de algoritmos básicos de monitoreo, sea posible que puedan activar o desactivar dispositivos eléctricos y válvulas de acuerdo a los umbrales de consumo definidos, este proyecto propone solucionar el problema del uso excesivo de energía y agua, el proyecto usa diseño de tecnológico de bajo costo que pueda ser integrado por sensores de diferentes tipos, actuadores para llevar a cabo acciones físicas y el uso de plataformas en la nube, haciendo uso de estos se realizará un monitoreo programado de las variables de estudio en tiempo real.

En la fase inicial, el sistema fue probado en un entorno residencial, donde alcanzó una reducción media del 15 % en el consumo energético y un 12 % en el uso de agua, lo que muestra un importante potencial de fomentar prácticas sostenibles de consumo, los resultados confirmaron la efectividad del modelo IoT-Cloud como herramienta para la administración de recursos, ya que al ofrecer información en tiempo real permite mejorar la toma de decisiones del usuario, de acuerdo a lo anterior el estudio también identifica posibles limitaciones relacionadas con la cobertura de red y la continua dependencia de la conectividad a Internet para que la operación no presente interrupciones del sistema.

Escobar Carrillo et al. (2023) es un avance que constituye una relevancia a gran escala y aplicables al contexto colombiano, dado que al abordar de manera simultánea la eficiencia energética y la conservación del agua desde un enfoque tecnológico accesible y replicable, demuestra en sí mismo la viabilidad técnica de integrar tecnologías IoT y servicios en la nube en viviendas comunes, esto se alinea directamente con los objetivos y el desarrollo del

presente proyecto.

Estrategias técnico - regulatorias para la implementación de la infraestructura AMI en el horizonte 2030 en Colombia

El proyecto que Bedoya Sánchez (2022) analiza diferentes técnicas y regulaciones, que son necesarias para implementar la infraestructura de medición avanzada llamada AMI dentro del sistema eléctrico colombiano, la proyección se hace hacia 2030 después de realizar un diagnóstico del marco regulatorio colombiano, donde examina las disposiciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, por otro lado las también evalúa las políticas establecidas en el Ministerio de Minas y Energía.

Se identificaron diferentes desafíos tecnológicos, recursos normativos y factores económicos que puede enfrentar el país en su transición hacia el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes, esta promueve el uso eficiente de la energía, la transparencia en el consumo y el cobro justo, la continuidad del servicio sea un hecho dentro del sistema AMI al hacer uso de medidores inteligentes, redes de comunicación bidireccional y los sistemas de gestión de datos de tipo MDMS, el investigador hace énfasis en la importancia de la interacción entre sistemas y la ciberseguridad como pilares de los mismos.

Dentro de los resultados del estudio se puede observar que Colombia se encuentra en una fase inicial de adopción del modelo AMI, se cuentan con proyectos piloto en ejecución y un marco regulatorio aún necesita ser consolidado, entre los principales retos se pueden identificar la falta de incentivos económicos que tiene presupuestado el país para los operadores, la ausencia de lineamientos técnicos unificados y la gran necesidad de fortalecer

las capacidades técnicas de las empresas distribuidoras, Bedoya Sánchez (2022) propone que se realice una hoja de ruta nacional que articule los aspectos técnicos, las políticas regulatorias y públicas necesarias para una implementación efectiva antes de 2030.

El trabajo de Bedoya Sánchez (2022) resulta especialmente significativo para la presente investigación, al ofrecer una visión estratégica del ecosistema energético colombiano y de las condiciones regulatorias que determinan la viabilidad de la digitalización del sistema eléctrico, su enfoque aporta un marco contextual sólido para comprender la integración de tecnologías IoT y software inteligente en la gestión energética nacional, destacando la importancia de alinear la innovación tecnológica con la planificación y las políticas energéticas del país.

Marco Teórico

Big Data

Big Data, para consideración del proyecto actual y basándose en la revisión bibliográfica de De Mauro, Greco y Grimaldi (2016), puede definirse como un cúmulo de datos que es almacenado en grandes cantidades, a velocidades muy altas y provenientes de diversas o una única fuente, para lograr una adecuada interpretación, se hace necesario contar con procesos específicos y el uso de herramientas de software que permitan su transformación en información utilizable, de acuerdo con esta definición se puede concluir que el combustible principal es la información, pero a su vez, se necesita de otras herramientas que extraigan su verdadero valor (Morán Corbacho, 2021).

Un ejemplo aplicable al proyecto actual serían los datos provenientes de diferentes dispositivos IoT ubicados en los hogares, todos ellos alimentando un bloque de Big Data, los softwares de análisis organizan estos datos en tablas coherentes y gráficos representativos, esta información de consumo o demanda puede ser suministrada a las plantas de energía solar, eólica e incluso nuclear, con el fin de establecer niveles de producción acordes al consumo y mantener un funcionamiento estable, como se puede interpretar de De Mauro, Greco y Grimaldi (2016), al mismo tiempo uno de los mayores problemas del Big Data además de su manejo es la transmisión de datos, ya que las redes deben soportar transferencias cada vez más grandes y rápidas, manteniendo la fiabilidad de la información (Morán Corbacho, 2021).

En investigaciones recientes acerca de gestión energética, el Big Data toma un papel de intermediario como la capa de integración entre los sensores IoT y los sistemas de control automatizado, este circuito permite la detección de patrones de consumo y la toma de decisiones predictivas, podemos tomar como ejemplo, el sistema HEMS-IoT desarrollado por Machorro-Cano et al. (2020), donde el Big Data se utiliza para procesar datos masivos procedentes de hogares inteligentes, ya que al estar aplicando algoritmos de machine learning que optimizan el uso de la energía y reducen los picos de demanda se forma una simbiosis beneficiosa, de forma similar en Sayed et al. (2022) señalan que la combinación de Big Data con inteligencia artificial en entornos IoT puede posibilitar un control energético que resulte en un menor consumo, al integrar modelos de predicción que ajustan de forma constante la demanda en función del comportamiento del usuario y los cambios en las condiciones ambientales.

Llevando este concepto al contexto colombiano, estudios como el de Barragán-Charry

et al. (2022) demuestran la relevancia de los procesos de telemetría y Big Data, que son usados para el monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico, donde fueron resaltados la necesidad de sistemas de almacenamiento y plataformas interoperables que garanticen la continuidad en las comunicaciones.

Complementando esta definición gracias a Morán Corbacho (2021) se puede ampliar, si se destaca que el verdadero valor del Big Data que radica en la posibilidad de crear información que permita hacer analítica predictiva extremadamente precisa, se espera que permite no solo observar tendencias pasadas, sino anticipar escenarios futuros de consumo y generación, esta visión coincide con la perspectiva de Ordouei et al. (2024), quienes aplican algoritmos de reinforcement learning sobre conjuntos masivos de datos para mejorar la eficiencia en las redes inteligentes (smart grids).

Inteligencia Artificial (IA)

La inteligencia artificial cuenta con una gran cantidad de ramas de estudio, es posible definirla como el campo de estudio capaz de diseñar sistemas que pueden actuar de forma inteligente, definiendo el término inteligente como la capacidad de emular unas acciones de forma similar a como lo haría un ser humano Morán Corbacho (2021), al mismo tiempo se puede enumerar ciertas categorías dentro de la IA.

La categoría de agente inteligente Morán Corbacho (2021) la tiene como el eje fundamental de la IA, el cual es capaz de actuar de forma adaptable según su entorno y objetivos, responder a los cambios y aprender de las experiencias registradas a través de sus diversas interacciones, pero sin dejar de estar dentro de las limitaciones establecidas por su

creador.

Otra de las categorías es el aprendizaje automático, se entiende como la posibilidad de que las máquinas puedan aprender a realizar interpretaciones a partir de datos, sin necesidad de estar programadas o definidas específicamente para cada tarea, toma principios de diferentes campos como la estadística, la informática y la teoría de la optimización, el modelo aprende una relación general entre las entradas y las salidas, pudiendo predecir correctamente la respuesta para nuevos casos en la mayoría de las veces Morán Corbacho (2021).

El llamado aprendizaje no supervisado es otra de las categorías, su principal atributo es poder trabajar sin resultados esperados al no programarse una salida predefinida, lo que lleva al propósito principal que es identificar patrones ocultos dentro de los datos, siendo el agrupamiento en órdenes variables su tarea más representativa, el K-means es un modelo muy utilizado funciona de forma que clasifica los datos en un número fijo de grupos, otro método utilizado es el Correlation Clustering, útil en situaciones donde no es posible determinar de antemano cuántos grupos deben formarse basándose en la similitud entre elementos para realizar la tarea (Morán Corbacho, 2021).

La categoría del aprendizaje por refuerzo, es un paradigma poco utilizado del machine learning en el cual un agente aprende a interactuar con un entorno a través de un sistema de recompensas, a diferencia de otras categorías en esta no se indican directamente las acciones correctas, sino que el agente debe descubrirlas mediante ensayo y error, este tipo de algoritmo de aprendizaje se utiliza los procesos de decisión de Markov, donde las decisiones actuales son tomadas exclusivamente dependiendo del estado presente (Morán Corbacho, 2021), esta categoría puede ser aplicada al desarrollo de proyecto de administración de recursos.

Para complementar estas categorías se tiene a Ordouei et al. (2024) quien aplica el aprendizaje por refuerzo en sistemas urbanos inteligentes para gestionar el consumo energético y por otro lado tenemos a Sayed et al. (2022) que enfatiza la combinación entre IA y dispositivos IoT para lograr edificios energéticamente eficientes, donde los modelos predictivos de machine learning procesan datos provenientes de sensores ambientales.

Para finalizar Machorro-Cano et al. (2020) emplea técnicas de IA como machine learning en el sistema HEMS-IoT, el cual puede analizar grandes volúmenes de datos domésticos y así anticipar patrones de consumo y Nur-E-Alam et al. (2024) proponen sistemas fotovoltaicos inteligentes basados en algoritmos de IA que optimizan la captación y almacenamiento de energía solar en edificaciones sostenibles, que integran además modelos de predicción climática y consumo.

Internet de las Cosas (IoT)

Esta tecnología puede definirse como, una red de dispositivos físicos que pueden conectarse mediante canales de comunicación físicos o inalámbricos, esta interconexión es posible lograrla a través del uso de diferentes sensores que permiten a su vez interactuar con el entorno, permitiendo de forma inversa el control de los procesos que desempeñan y la toma de decisiones basadas en datos que puede ser transmitida (Barragán-Charry et al., 2022).

Al hacer posible el monitoreo remoto de dispositivos el internet de las cosas, abre diferentes caminos para la generación de datos tanto del funcionamiento propio como de variables que se monitorean a través de los dispositivos, con una transmisión en tiempo real a una central de datos se hace posible la toma de decisiones automatizadas o manuales usando

procesos complementarios Sánchez Valdés (2019), este principio operativo se alinea con el concepto de domótica que se abordará más adelante.

El funcionamiento de una estructura basada en el internet de las cosas cuenta con tres capas principales como se observa en la **figura 2**, la capa de percepción que incluye los sensores y actuadores encargados de captar los datos del entorno, la capa de red o comunicación que se encarga de transmitir la información y la capa de aplicación o nube donde se almacenan, procesan y visualizan los datos a través de plataformas digitales (Escobar Carrillo, Giraldo García y Ramírez Castiblanco, 2023), esta estructura es general para la mayoría de los proyectos que tienen como base dispositivos con IoT, Morán Corbacho (2021) destaca muy bien como los sistemas de aprendizaje automático aplicados sobre datos recolectados por dispositivos IoT permiten identificar patrones y anticipar necesidades, formando una red inteligente.

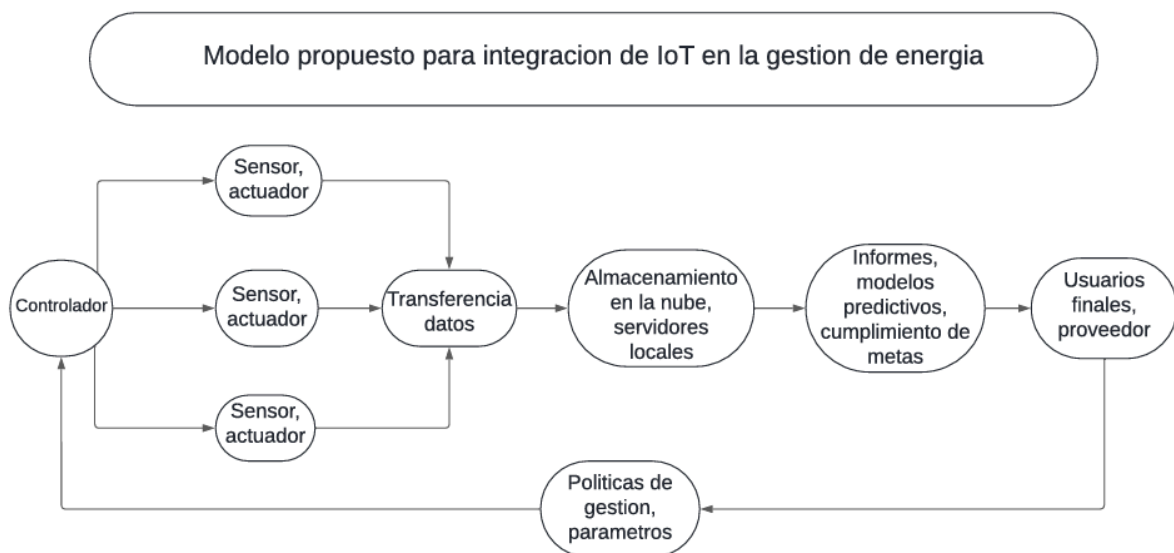


Figura 2. *Arquitectura general del Internet de las Cosas y sus capas de funcionamiento.*

Fuente: elaboración propia a partir de Barragán-Charry et al. (2022) y Escobar Carrillo et al. (2023).

Otros estudios como Barragán-Charry et al. (2022) realiza una aplicación práctica de estas tecnologías con un proyecto que, acopla un sistema de monitoreo y control energético basado en IoT en colaboración con Vatia S.A. E.S.P., de forma similar, Escobar Carrillo et al. (2023) desarrollaron un sistema IoT-Cloud orientado al ahorro de agua y energía en el hogar, utilizando microcontroladores de bajo costo a su vez que integra los IoT y servicios Cloud, esto refleja cómo los IoT representan una base perfecta para avances en el campo del monitoreo automático.

En un contexto local Colombia de acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024) advierte que, aunque el país cuenta con avances en cobertura de redes 3G y 4G, así como políticas de innovación tecnológica, aún existen limitaciones estructurales en materia de adopción de inteligencia artificial y digitalización de procesos energéticos, estas condiciones son desfavorables para la expansión del IoT más allá de proyectos piloto y reducen su alcance en sectores rurales o de bajos recursos.

En un contexto global, se apunta hacia una expansión sostenida del IoT en todos los niveles del ecosistema energético y otros campos, su integración con redes eléctricas inteligentes (REI) y sistemas de gestión automatizada, marcan un punto de partida para gran cantidad de innovaciones, los dispositivos que cuenta con IoT no solo representa una tecnología de comunicación, sino un paradigma transformador que redefine la relación entre usuarios y sus dispositivos electrónicos. al permitir que estos últimos puedan percibir su entorno por medio de la información digital.

Red Eléctrica Inteligente (REI)

Las Smart Grids o REI, son el siguiente paso en el desarrollo de la infraestructura eléctrica, debido a que integran tecnologías de la información, automatización mediante inteligencia artificial y permiten la comunicación bidireccional entre el sistema eléctrico y los usuarios, esta interacción es viable gracias a la domótica, que posibilita la administración general de los dispositivos interconectados, además con el uso de las REI también es posibles ejecutar configuraciones personalizadas basadas en preferencias individuales Sánchez Valdés (2019).

El concepto de telegestión, entendido como la capacidad de medir y controlar el consumo eléctrico en tiempo real y a distancia, facilita la gestión activa de la demanda, que ajusta el consumo eléctrico de acuerdo con patrones de comportamiento identificados mediante dispositivos IoT y algoritmos de IA, entre los beneficios generales de las REI se encuentran la recuperación ante interrupciones sin necesidad de intervención física y la incorporación progresiva de energías renovables Sánchez Valdés, (2019).

Para un adecuado funcionamiento este tipo de redes demandan, el uso de dispositivos de comunicación heterogéneos, la disponibilidad de sistemas locales de almacenamiento energético y el control de cargas eléctricas, por lo cual se deben utilizar tecnologías de comunicación como WiMax, que se emplea en la conexión de medidores inteligentes y las redes móviles 3G y 4G LTE, cuya amplia disponibilidad en Colombia las hace idóneas para tareas de monitoreo y control en zonas urbanas (PNUD, 2024).

En el ámbito doméstico, se resalta la importancia de tecnologías como HomePlug, que está diseñada para interconectar electrodomésticos y dispositivos electrónicos con capacidad

IoT como bombas de agua, televisores, refrigeradores y vehículos eléctricos a través del cableado eléctrico existente Sánchez Valdés (2019), la implementación exitosa requiere no sólo la modernización de la infraestructura eléctrica, sino también el fortalecimiento de la arquitectura de datos y comunicaciones que las sustenta.

Gestión Energética Inteligente

Al referirse a la Gestión Energética Inteligente se habla principalmente de un conjunto de estrategias, componentes tecnológicos y procedimientos de software orientados a dar como resultado una eficiente administración de los recursos energéticos, cuyo objetivo es garantizar que estos sean usados con el menor desperdicio (IEA, 2024), la adopción de estos modelos constituyen un paso importante hacia la digitalización de los sistemas de control manual de la energía, por tanto es una evolución necesaria de acuerdo a Bedoya Sánchez (2022).

Desde el punto de vista tecnológico este concepto se puede asociar a tres componentes, el Internet de las Cosas, la Inteligencia Artificial y el uso de Big Data, los cuales desempeñan un papel importante desde la captura de información hasta su interpretación y planteamiento de estrategias basadas en información, estas estrategias toman parámetros como las condiciones del entorno y el comportamiento de los usuarios para elaborar una matriz programada y dar como resultado la mejor gestión posible Barragán-Charry et al. (2022).

Domótica o Automatización Residencial

Se entiende el término como la automatización de sistemas tanto domésticos como empresariales, que cuentan con dispositivos tales como cámaras de seguridad y puertas

automáticas, hasta aquellos que se usan para el confort de los usuarios como televisores, luces automáticas y graduables, cocheras automáticas entre otros, en general es una aplicación práctica de los dispositivos que cuenta con IoT (Sánchez Valdés, 2019).

Los sistemas modernos mayormente cuenta con la tecnología IoT por lo cual es posible establecer la comunicación a redes locales o plataformas en la nube, a su vez permiten el control de forma remota de la iluminación, climatización y seguridad, haciendo un uso consciente y programado de estos dispositivos es posible incluso la reducción del consumo eléctrico (Escobar Carrillo, Giraldo García y Ramírez Castiblanco 2023).

Existen diferentes medios de comunicación entre todos ellos los más utilizados en los textos académicos son ZigBee, Z-Wave, Bluetooth y Wi-Fi, todos ellos permiten la interconexión entre dispositivos de distintos fabricantes gracias a que cuentan con tecnologías de comunicación similares y compatibles, cada una de estos medios de comunicación cuenta con sus propias limitaciones, aun así dan una gran facilidad para el despliegue modular Barragán-Charry et al. (2022).

Marco conceptual

Algoritmo: En su forma más básica es un conjunto de pasos definidos que permiten resolver un problema o ejecutar una tarea específica, en aplicaciones con un nivel avanzado de desarrollo son un elemento clave de los sistemas autónomos, es crucial para las diferentes investigaciones y proyectos, al ser la base de todos los sistemas utilizados.

Análisis de datos: Proceso iterativo aplicado a los datos almacenados con el objetivo de organizarlos de tal forma que se pueda obtener información útil, que será usada como base para toma de decisiones u ocasionar adaptaciones en los sistemas automatizados, siendo un pilar fundamental para los estudios basados en el internet de las cosas.

Aprendizaje automático: Es una aplicación de la inteligencia artificial que permite a los sistemas aprender por medio de interacciones, gracias a esto no es necesario programar todo con antelación y abre un mundo de posibilidades para los sistemas interconectados, es una definición importante para la revisión de literatura, debido a que los componentes de las redes pueden ser automatizados por medio de este tipo de algoritmos .

Aprendizaje profundo: Es un método aplicado a la inteligencia artificial generalmente usado para reconocimiento de voz, interpretación de imágenes o en un aspecto técnico el poder realizar predicciones basadas en el estudio de patrones, su importancia es altamente representativa ya que, adopta el papel de intérprete dotando de valor los datos almacenados.

Arquitectura IoT: Hace referencia a un conjunto de instrumentos que usan la tecnología IoT para comunicarse, formando una red de dispositivos heterogéneos que puedan comunicarse, recopilar datos y transmitirlos, siendo esencial para el proyecto, ya que de su correcta estructuración depende la integración eficaz de los dispositivos de medición y control.

Blockchain: Es la tecnología mediante la cual se pueden llevar a cabo el almacenamiento y el transporte seguro, esto gracias a un desarrollo robusto de encriptación y la posibilidad del trabajo por nodos, este aspecto adquiere relevancia para la revisión al

presentar una alternativa que complemente la seguridad de las redes inteligentes.

Capas de comunicación: Los diferentes dispositivos que se interconectan por medio de redes hacen uso de estas capas, existen capas de comunicación entre los mismos dispositivos y al mismo tiempo otras que se usan para comunicarse con el entorno o los usuarios, son importantes para esta investigación al permitir comprender el proceso de comunicación en profundidad.

Ciberseguridad: Está compuesto por un conjunto de estrategias destinadas a proteger los diferentes sistemas, al mismo tiempo que cuida los datos almacenados de ser corrompidos o robados, es un conjunto de proceso de gran importancia para el proyecto, ya que componen uno de los vacíos más importantes y críticos del estudio.

Computación en la nube: Es un modelo que se usa para la prestación de servicios informáticos a través de Internet, permite almacenar, procesar y analizar información sin necesidad de infraestructura local, este concepto trascendente para la investigación, debido a amplía el panorama de aplicación de las diferentes investigaciones estudiadas.

Consumo energético: cantidad de energía utilizada por dispositivos, sistemas o edificaciones durante un periodo determinado, su análisis es fundamental para evaluar la eficiencia y proponer medidas de ahorro, permitiendo evaluar el impacto que tendrán los diferentes proyectos revisados que hacen uso de las tecnologías IoT en la reducción del uso eléctrico.

Control automatizado: Se logra mediante el uso de diferentes mecanismos que

integrados con otros permiten regular su funcionamiento sin intervención humana directa, es importante para este trabajo, ya que representa el concepto base sobre el cual la mayoría de las investigaciones prácticas fueron desarrolladas.

Eficiencia energética: Se puede definir como el uso racional y óptimo de la energía para obtener los mismos resultados con un menor consumo, este principio es representativo para la investigación, debido a que las tecnologías estudiadas en los diferentes textos buscan precisamente lograr este tipo de Eficiencia.

Energías renovables: Son fuentes de energía como la fotovoltaica proveniente del sol, la energía eólica generada al usar el viento como impulso y la hidráulica el mismo concepto que para el aire pero haciendo uso del agua, será un tema recurrente dentro del proyecto actual ya que, en su mayoría los diferentes proyectos revisados y los temas que tratan giran alrededor del aprovechamiento y articulación de este tipo de energías.

Gateway: Es un dispositivo que conecta una red local de sensores IoT con Internet o redes más pequeñas, se encarga de la traducción de protocolos y de la transmisión de datos, es relevante para la investigación dado que su uso es común en los diferentes estudios realizados.

Gestión energética: Es un proceso por medio del cual se espera administrar la energía de tal forma que incremente su aprovechamiento, es fundamental en la investigación dado que es el concepto hacia el cual se espera llegar mediante el uso de las diferentes tecnologías.

Industria 4.0: Es un concepto que se caracteriza por el desarrollo de los dispositivos

IoT, la aplicación de la Inteligencia artificial, los avances en la robótica y la recopilación de Big Data, entre otros y que son aplicados a la industria para su desarrollo, su relevancia para este proyecto es facilitar todas las herramientas necesarias para llevar a cabo una nueva revolución en el campo de la energía eléctrica.

Interoperabilidad: Es la capacidad de comunicarse entre sí que tienen diferentes dispositivos, esto es posible lograrlo independientemente del fabricante o los sistemas instalados, este concepto es clave en el estudio al establecer la posibilidad de integrar diversas plataformas IoT y medidores.

MQTT: Es el acrónimo de Message Queuing Telemetry Transport un protocolo de comunicación ligero utilizado en sistemas basados en IoT y servidores, este elemento es importante para la investigación porque su consumo de ancho de banda y energía lo hace ideal para la transmisión de datos en entornos de bajo presupuesto.

Raspberry Pi: Es una placa utilizada como controlador en proyectos que hagan uso de tecnologías IoT, es escogido debido a su bajo costo y compatibilidad, su importancia en este estudio radica en su potencial para servir como núcleo de sistemas de monitoreo y control.

Sensor: Son todos aquellos dispositivos que detectan cambios en el entorno físico, como temperatura, luz o corriente eléctrica y que se convierten en variables procesables, este componente es relevante para el presente estudio porque constituye la fuente primaria de datos sobre diferentes fenómenos medibles.

Telegestión: Es un proceso que permite controlar de forma remota dispositivos, estos

deben estar conectados mediante redes por tanto contar con tecnología IoT que posibilite el recibir las señales enviadas, su relevancia en el estudio es justamente por su aplicación en la automatización de la red.

Transición energética: Es un proceso mediante el cual, los combustibles fósiles utilizados en los motores para producir energía, son reemplazados de forma progresiva por energías de origen renovable, este concepto resulta relevante para la investigación, ya que las energías renovables son las que requieren un mayor control en su uso.

Unidad de Planeación Minero Energética: Entidad perteneciente al Ministerio de Minas y Energía de Colombia encargada de planificar el desarrollo del sector energético nacional y formular el Plan Energético Nacional (PEN), es relevante conocer este organismo para el proyecto actual, ya que, será usado como fuente de información en temas locales.

Wi-Fi: Es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión de dispositivos que cuenten con tecnología IoT, su relevancia para el estudio radica en que constituye un medio de comunicación común para conectar sensores.

ZigBee: Es un protocolo de comunicación inalámbrico de bajo consumo energético utilizado en dispositivos IoT de corto alcance, es importante para la investigación al funcionar como una alternativa de transmisión de datos.

Marco legal

En un principio podemos decir que la Ley 2108 de 2021 que declara el acceso a Internet como un servicio público esencial, hace al estado Colombiano responsable de contar con una reglamentación flexible que permita a la infraestructura de red expandirse desde las ciudades a zonas rurales (Ley 2108 de 2021), es sin duda la muestra más clara de que Colombia está apostando por un entorno más tecnológico y muestra gran interés por las personas y su necesidad de comunicarse.

Con ánimos de continuar con el esfuerzo por una Colombia sostenible, el Plan Maestro de Gestión del Espectro 2022–2026, propone la creación de las políticas de administración del espectro radioeléctrico, donde se destina la banda de 915–928 MHz para su uso en las comunicaciones y plantea estrategias para ampliar su disponibilidad según la demanda tecnológica (ANE, 2022), al mismo tiempo nombra un responsable por medio la Ley 1341 de 2009, que a su vez es modificada por la Ley 1978 de 2019, establece las prioridades para el desarrollo de las comunicaciones, donde se especifica que el espectro electromagnético es un bien público que se encuentra sujeto a la administración del Estado (Ley 1341 de 2009; Ley 1978 de 2019), aunque en ellas no se mencionan los dispositivos IoT exactamente, podemos considerar que cubren la posibilidad de usarlos.

Después de revisar los diferentes antecedentes del proyecto podemos considerar la Ley 697 de 2001 como un paso hacia adelante en la agenda nacional, en esta ley se hace especial énfasis en el uso racional de la energía e incentiva la adopción de nuevas tecnologías para su mejor aprovechamiento, esta norma es complementada por el Decreto 3683 de 2003, en el cual reglamenta la creación de la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y

Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales, que buscará promover la coordinación interinstitucional en políticas de energía (Ley 697 de 2001; Decreto 3683 de 2003).

Se ha mencionado con anterioridad la agenda nacional que busca la migración del uso de combustibles fósiles a las energías limpias, la Ley 1715 de 2014 constituye un pilar legal para la integración de estas energías al sistema energético nacional, establece disposiciones específicas para la autogeneración por parte de la población así como parámetros para la entrega de excedentes, como impulsor de estas iniciativas también promueve incentivos tributarios para la adopción de estas tecnologías (Ley 1715 de 2014).

En concordancia con las leyes propuestas, la Comisión de Regulación de Energía y Gas mediante la Resolución CREG 101-001 de 2022, define condiciones para la implementación de infraestructura de medición en el sistema interconectado nacional, esta asigna a los operadores de red la responsabilidad de instalar y mantener medidores que permitan recopilar información del consumo energético (CREG, 2022).

Marco contextual

Contexto energético global

Dando una mirada global, el 2023 puede considerarse un año de avances para las naciones del mundo, al encontrarse en una carrera contra el tiempo para cumplir con la meta global de triplicar la cantidad de energía generada desde fuentes renovables para el año 2030, en la **Figura 3** se muestra el crecimiento de la capacidad producción eléctrica renovable por país o región, aunque se observa que los avances presentados por otras regiones en

comparación con América Latina son mucho mayores, el panorama es favorable (International Energy Agency [IEA], 2023).

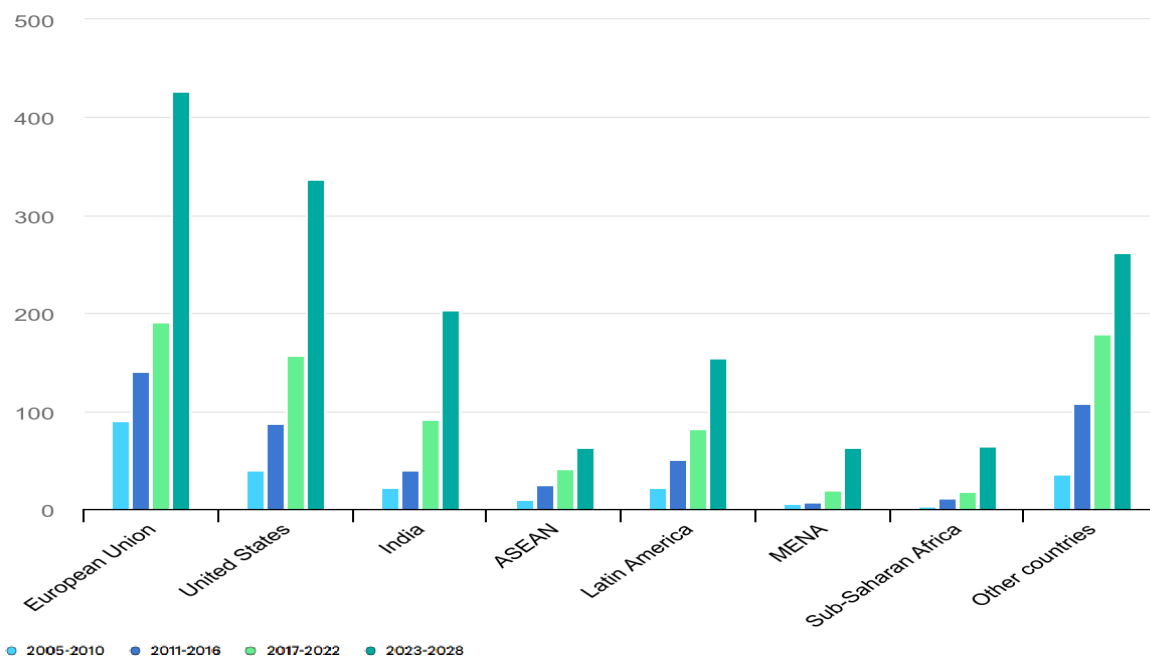


Figura 3. Crecimiento de la capacidad de producción de energía renovable por país o región

Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2024, IEA.

Contexto latinoamericano y colombiano

Colombia como país, es considerado una economía naciente de América del Sur, aunque enfrenta dificultades políticas como cualquiera otro país, continúa demostrando su compromiso con los objetivos globales de sostenibilidad, aunque de forma tardía y en un contexto muy general se han formulado varias políticas, que apoyan el cambio de infraestructura y la producción de energías provenientes de fuentes renovables (International Energy Agency [IEA], 2023).

Colombia en si no se lleva solo el crédito como país, estas iniciativas fueron apoyadas por fuerzas internacionales con el fin de que se sume esfuerzo a la agenda internacional, aunque en una escala inferior a la esperada, el país continúa su camino hacia el cambio energético superando los problemas de orden público que se suman a la crisis política, pese a lo ya mencionado lamentablemente, el país enfrenta otros desafíos que retrasan el avance o la puesta en marcha de las políticas en favor de las energías renovables, la desactualización de las redes eléctricas, que se encuentra en un estado lamentable en sectores importantes de la estructura nacional, que constituyen un cuello de botella que limita la capacidad de transporte y distribución de energía (International Energy Agency [IEA], 2023).

En diferentes estudios se ha comprobado que producción de energías renovables es más económico a largo plazo, las altas tasas de interés impuestas por los bancos internacionales y el incremento en la demanda global de equipos tecnológicos han elevado los costos de maquinaria e infraestructura, al mismo tiempo la deuda externa y factores administrativos afectan también el desarrollo de estas iniciativas (International Energy Agency [IEA], 2023).

Caracterización del país

Se puede introducir a Colombia como un hermoso país marcado por la guerra y la esperanza, con una gran riqueza natural, grandes bosques, terreno cultivable y bosques, la vegetación y fauna salvaje son motivo de orgullo, también ostenta variados terrenos montañosos y ríos que descienden desde la cordillera, su geografía es apta para la creación de numerosos proyectos, como represas, granjas solares y parques eólicos, su capital Bogotá está ubicada en los alrededores de la zona central del país.

Los límites territoriales llenos de historia e intercambio cultural, se pueden describir desde varios puntos, comenzando por el este se tienen vecinos como Venezuela y Brasil, en la zona sur podemos encontrar a Perú y Ecuador y categóricamente en el noroeste se encuentra Panamá con su canal que permite la comunicación entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe, que son dos grandes masas de agua con las cuales las fronteras de Colombia tienen comunicación, esta riqueza territorial y fronteriza ayuda a la economía permitiendo, la exportación de materias primas y productos agrícolas como lo son el carbón, el petróleo, la palma de cera, flores, café. entre otros, además cuenta con tratados de libre comercio para importación de productos terminados como combustibles, tecnologías, abonos para el cultivo, maquinaria y herramientas.

El país tiene acceso a tecnologías exportadas por otros países bajo controles estrictos y altos impuestos, lo que ocasiona que la tecnología disponible no sea necesariamente de punta, lo que desencadena un mayor consumo de energía en comparación con países europeos, esto también influye en los hogares que enfrentan niveles altos de consumo de energía, además de variantes económicas internas que afectan todo el esquema financiero.

En el año 2025 tiene cerca de 53 millones de habitantes y de acuerdo a las proyecciones de la Economic and Social Affairs, Population Division, (2024) para el año 2050 se alcanzará los 59 millones de habitantes como se puede observar en la **Figura 4**, lo que nos lleva a una de las dificultades que enfrenta el país, debido a la creciente demanda energética por consecuencia del incremento en la población y la migración, además del incremento en el costo de vida de las ciudades más desarrolladas.

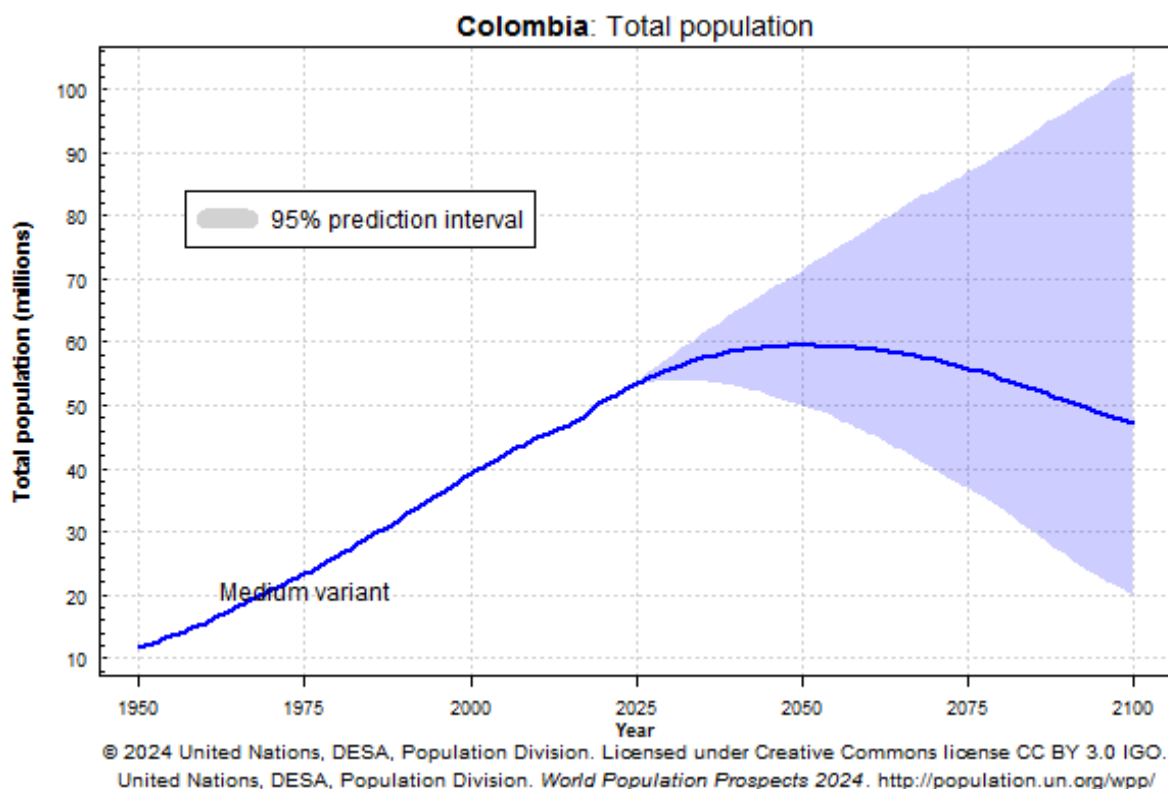


Figura 4. World Population Prospects 2024.

Fuente: United Nations, DESA.

El Ministerio de Minas y energía y la Unidad de Planeación Minero Energética [UPME] (2024) de Colombia, desarrollaron el plan energético nacional (PEN) para el periodo de tiempo entre los años 2022 a 2052, los tiempos bajo los cuales se hizo el plan están sujetos a cambio de acuerdo al avance que se registre periódicamente, en un principio el plan está proyectado para realizarse en el largo plazo, en general el plan consiste en diferentes caminos para la transición energética del país y que a su vez se lleve a cabo de forma justa y controlada, estos avances implican cambios importantes en el sector de la energía y el acceso por parte de la población a capacitaciones y aprendizaje que requieren de inversiones significativas.

Inteligencia Artificial (IA) en Colombia

De acuerdo con los resultados arrojados por la Evaluación del panorama de la inteligencia artificial (AILA), que se encargada de evaluar el nivel de preparación que tiene un gobierno para hacer uso de la IA y obtener beneficios de su implementación, esta evaluación fue realizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024) a Colombia en el mes de noviembre de 2024 y se obtuvo una calificación de 3.4 sobre 5 puntos posibles, de acuerdo al puntaje obtenido la dimensión en la que se encuentra es de “Diferenciador”. Esta dimensión sugiere que el país posee fundamentos sólidos para desarrollar, adoptar e implementar inteligencia artificial pero no será del todo exitosa.

De acuerdo a la figura 5, de los doce criterios evaluados en las tres diferentes perspectivas que serían el gobierno como habilitador, como usuario y desde un enfoque ético, sólo en dos se alcanzó la dimensión de “Transformador” el más alto posible, en contraste si observamos la figura el resultado de la AILA refleja que; los diez aspectos restantes presentan calificaciones más bajas, si bien Colombia avanza hacia un uso responsable y adecuado de la IA no está preparado para aprovecharla al máximo.

Un concepto importante que es tomado en cuenta por la evaluación AILA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024), es el uso ético y responsable de la IA, el cual debe ser asequible para la mayoría de la población y su uso pueda ser realizado de forma segura, justo como se observó en la figura 5 este campo es una de las calificaciones más bajas obtenidas por el gobierno, no solo es el carácter ético de la IA también influye la eficiencia, el respeto de los derechos humanos y el minimizar riesgos, en una economía y era tecnológica como la que se vive en la actualidad, la dimensión ética forma una guía para que las necesidades de los ciudadanos, sus valores y los esfuerzos del

gobierno se combinen y progresen alineados con los avances tecnológicos.

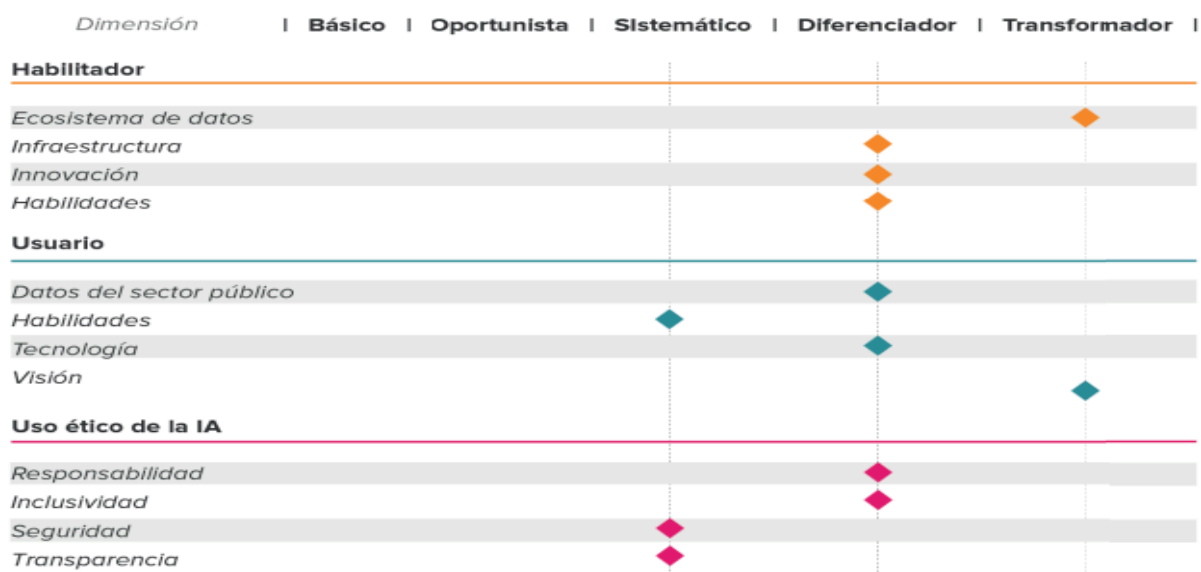


Figura 5. Evaluación AILA Colombia en las 3 dimensiones.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024).

Los dos resultados publicados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024), en un aspecto más detallado se evalúa al gobierno de Colombia como habilitador de la IA aspecto crucial para el desarrollo y adopción en el país, el gobierno fue posicionado en la dimensión de “Diferenciador” con un puntaje de 3.7 sobre 5 lo que demuestra la intención de desarrollar e invertir en infraestructura adecuada para la IA, además de las habilidades necesarias para dar un uso apropiado, el siguiente paso en el gobierno de Colombia sería alcanzar la dimensión de “Transformador” lo cual no solo requiere mantener los esfuerzos e iniciativas también destinar una mayor inversión en investigación.

Como se puede en la figura 6, se evalúan individualmente ciertos aspectos como el desarrollo de la infraestructura tecnológica en la cual el país está altamente calificado debido

a la disponibilidad y cobertura de las redes 3G y 4G, aun así no solo se requiere tecnología, es necesario disponer de políticas y marcos regulatorias continuamente cambiantes y adaptables al ritmo de la tecnología de la IA que avanza a un ritmo frenético, disponer de programas educativos, capacitación para la población y la fuerza laboral.

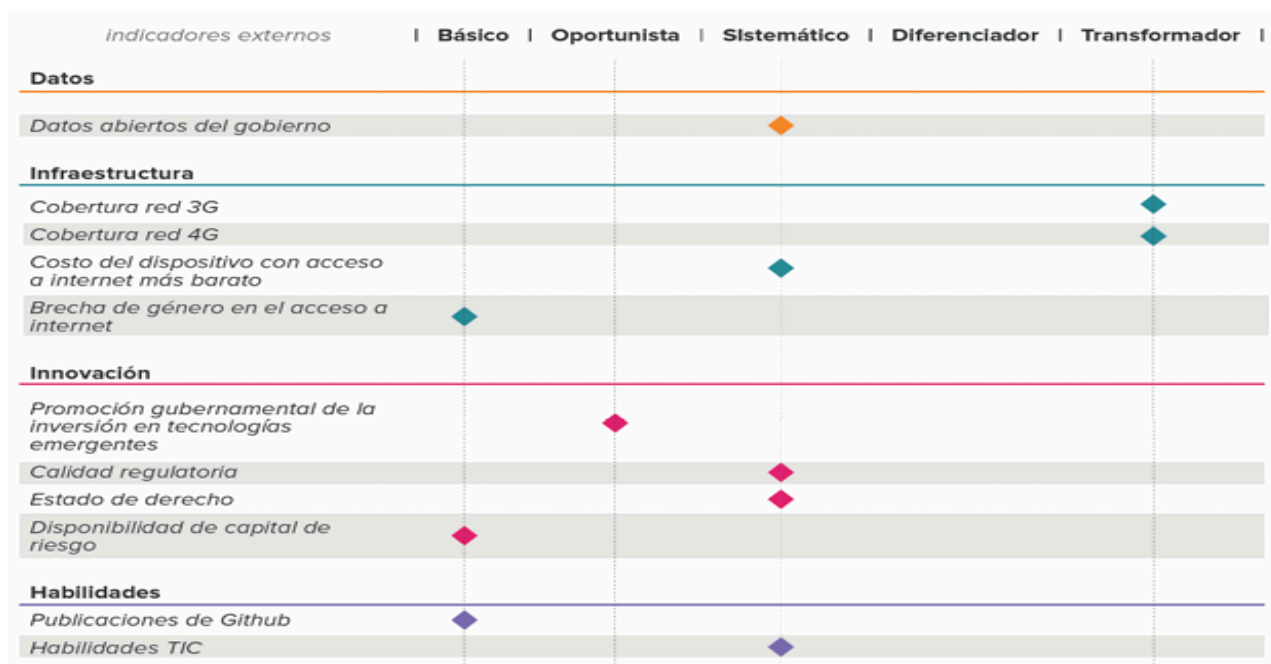


Figura 6. Evaluación AILA indicadores externos de la dimensión de Gobierno como *Habilitador*

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024).

En cuanto a lo que tiene que decir el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024) sobre el Gobierno como Usuario, la AILA evalúa la capacidad que tiene de obtener beneficios al integrar la IA a sus actividades del sector público y sacar el máximo beneficio de esta, revisa a grandes rasgos la competencia de los servidores públicos, la disponibilidad de tecnologías e infraestructura para el uso de IA, **figura 7** el gobierno Colombiano a pesar de ser catalogada en la dimensión de “Diferenciador” con una puntuación de 3.6 sobre 5 puntos, el progreso continúa requiriendo una mayor capacitación de los

servidores públicos, claramente se demuestran los avances en la aplicación de la IA y sus ventajas se dejan ver dentro de la organización mostrando mejoras significativas pero con posibilidades de ser aún mejores.

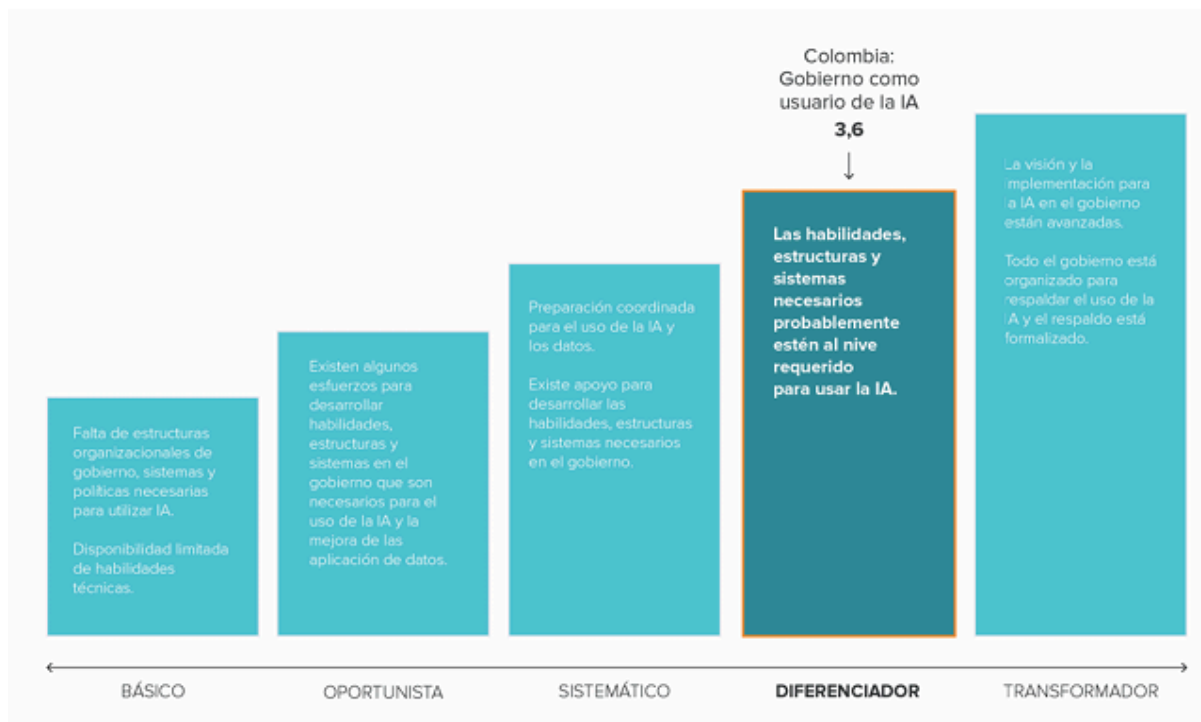


Figura 7. Evaluación AILA resultados de Gobierno como usuarios de la IA

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2024).

Estado del Arte

Revisión de investigaciones y desarrollos recientes

A continuación se listan los proyectos escogidos para la revisión de literatura e identificación de los aportes de los desarrollos recientes a las futuras investigaciones.

A comprehensive review on IoT protocols' features in smart grid communication. Energies

Dentro del proyecto que realizaron Tightiz y Yang (2020), se comparan los que consideran los principales protocolos de comunicación usados en redes eléctricas inteligentes que usan como base la tecnología IoT, los protocolos más mencionados en especial por sus detalles técnicos son el MQTT y CoAP que ciertamente mostraron ser superiores frente a otros mencionados como el DDS y el AMQP, claro está la clave está en poder definir los protocolos que resultan pertinentes para cada tipo de aplicación, en especial si lo que se espera lograr es un resultado con una seguridad profesional.

Desafortunadamente el enfoque por el que escogieron llevar la investigación es de carácter técnico, por lo cual sus resultados aunque buenos están limitados al campo de la teoría y no permite tampoco tener una referencia geográfica de comparación con Colombia, considero una fuente inestimable de conocimiento técnico, que permite entender a fondo las bases de las comunicación entre sistemas IoT y la necesidad de estandarizar los modelos de desarrollo, que permita a los desarrollos prácticos una mayor compatibilidad entre sí.

El estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en la edificación y su impacto en la eficiencia energética

La labor realizada por Montúfar Chiriboga (2024), que hace especial hincapié en la revisión de los temas que traten acerca de sistemas inteligentes desarrollados para edificaciones, la compatibilidad entre dispositivos IoT, la inteligencia artificial y claro está las energías de fuentes renovables, buscando identificar como afecta esta combinación al uso de la energía, es posible identificar dos tendencias que destacan ampliamente que son el edge

computing y la inteligencia artificial explicable, aún así el análisis es de carácter teórico, no cuenta con detalles de aplicación al territorio latinoamericano, así como tampoco muestra una propuesta de adaptación económica y normativa aplicable bajo ningún contexto, la importancia de este proyecto radica en el conocimiento general que otorga acerca del panorama internacional, la rubrica de investigacion basada en tecnologías emergentes y las nuevas formas de uso de la inteligencia artificial que explica, a su vez deja como posibilidad el estudio y aplicación de estos conocimientos a un escenario Colombiano con sus propios costos, capacidades de comunicación y regulaciones que limitan estos proyectos.

IoT en el sector energético: software de monitorización y análisis de variables ambientales y energéticas

Un análisis realizado por Boriba (2020) espera comparar el comportamiento de la cadena energética, se hace en dos instancias, antes de incorporar dispositivos que cuente con IoT y después de incorporarlos a la cadena, aunque su aplicación es principalmente empresarial, intenta mostrar cómo la digitalización y el análisis de datos en tiempo real es posible y sostenible en el tiempo, aunque el estudio carece de datos acerca del comportamiento en residencias con un menor flujo de energía y más automatización, además de no contar con los costos de fabricación y mantenimiento, es un documento relevante para la presente investigación, también carece de información relevante como impactos que tuvo en los empleados y cómo revisaron las aplicaciones regulatorias, aun asi como se indicó antes es un proyecto que muestra el potencial del IoT para trabajar en conjunto con análisis de datos y la recopilación de información.

Arquitectura Big Data para edificios inteligentes basada en herramientas Open Source enfocada en la gestión energética

Por su parte el Big Data es una de las tecnologías con los mayores aportes a la gestión energética y es posible observar esto en el proyecto de Prieto Macana (2023), adicional al uso de Big Data también propone usar herramientas de fuente abierta para ser desplegadas en futuros edificios inteligentes, entre las tecnologías que se usarán se encuentran IoT, Apache Kafka, Mongo DB, cuyas funciones serán de recolectar hasta analizar datos generados.

Dentro de los aportes que da la investigación, el mayor es confirmar su viabilidad sin el uso de costosos software privados, además de la posibilidad de crear prototipos de bajo costo como complejas redes en edificios, es posible usarlo como punto de comparación ya que el proyecto se acerca más a la gestión de energía en el hogar, aunque se limita al realizarse en edificios que cuentan con un panel central de energía lo que facilita su implementación, al mismo tiempo que no hace posible confirmar si los datos recopilados pueden ser usados para la toma de acciones en tiempo real, es posible replicarlo en otros entornos para obtener estos resultados sin una gran inversión pero con un gran requisito técnico..

Propuesta de métricas para comparación de Frameworks IoT. En XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación

Las investigaciones realizadas por Godoy et al. (2020) acerca de las diferencias encontradas después de comparar frameworks de dispositivos IoT, donde esperaba identificar aquellos que ofrecen el mejor desempeño para las tareas de comunicación y gestión, su aporte

es imprescindible ya que además de establecer un modelo de evaluación con métricas de software, donde se tiene en cuenta conectividad, seguridad y su desempeño a gran escala, lo que permite identificar las mejores opciones para las tareas a realizar sin tener sobrantes o faltantes en el carácter práctico, aunque el estudio es principalmente técnico y desarrollado para entornos empresariales, resulta de gran interés para su aplicación en entornos más pequeños complementando con un adecuado estudio económico y de sostenibilidad, desde una perspectiva general brinda grandes aportes a la investigación de tecnologías IoT y su compatibilidad.

Implementación de un Protocolo de Enrutamiento para Redes de Sensores IoT en CupCarbon

La evaluación que hace Sáenz Cruz (2023) sobre dos algoritmos para enrutar redes de sensores IoT mediante pruebas realizadas en CupCarbon, dio como resultado que un enfoque multiobjetivo mejora la autonomía y permite una mejor distribución entre nodos de forma equilibrada, su principal aporte a las investigaciones de IoT es demostrar por medio de evidencia cuantificable que decisiones inteligentes en el nivel de red del modelos OSI, pueden prolongar en gran medida la durabilidad de los dispositivos IoT, un aporte inestimable para la funcionalidad y durabilidad en el uso de equipos que funcionen con energía limitada y requieran una operación prolongada como lo es la solar, aunque con el uso solo de pruebas y simulacros limita la aplicabilidad real de el desarrollo, ya que no se testean interferencias reales de otros dispositivos, degradación de baterías o problemas de conectividad, la inversión financiera no es tomada en cuenta siendo un factor relevante, dentro de los aportes que hace al desarrollo de el proyecto, se destacan la importancia de optimizar redes basándose en su durabilidad y la estabilidad en las comunicaciones sin el exceso de uso energético.

Machine learning-enhanced all-photovoltaic blended systems for energy-efficient sustainable buildings

En la investigación realizada por Nur-E-Alam et al. (2024) donde propone un sistema de energía solar híbrido, al mismo tiempo que hace uso de algoritmos de aprendizaje automático para predecir el rendimiento, hacer el almacenamiento automático y supervisar la distribución, con la combinación de todas estas tecnologías ha logrado mejorar la eficiencia en 17% y reducir pérdidas provocadas por la variabilidad ambiental, lo que resulta en un gran avance para los modelos que usan software predictivo para la gestión de la energía, aunque en un entorno simulado que puede omitir muchos de los problemas que ocasionar un despliegue en instalaciones reales, en especial zonas altamente variables en cuanto a su clima o con una infraestructura limitada, por otro lado su aporte es indiscutible, dando resultados prometedores para la aplicación de software de aprendizaje automático para la gestión de recursos.

Optimization of energy consumption in smart city using reinforcement learning algorithm

El proyecto desarrollado por Ordouei, Broumandnia, Banirostam y Gilani (2024) donde se propone, un modelo de administración de energía en entornos urbanos mediante el uso de algoritmos de aprendizaje por refuerzo, los cuales se usarán dentro de micro redes inteligentes, dentro de los aportes que hace a la investigación, se pueden nombrar los resultados obtenidos en cuanto a mejoras de eficiencia y reducción de costos que fueron respectivamente el 18% y 22%, nuevamente aunque resultados muy interesantes todos ellos fueron obtenidos en entornos simulados, lo que conlleva variaciones a la hora de aplicarlos al

sector real, las principales afectaciones a tener en cuenta serían la disponibilidad de redes de datos, el clima, el diseño de la red entre otras, los precios del mercado son siempre cambiantes por lo que la reducción en costos puede también resultar afectada, estos faltantes en la investigación no desestiman sus grandes avances y aportes, principalmente en cuanto al Q-learning o el aprendizaje por refuerzo que adaptado a los sistemas energéticos pueden dar como resultado gestiones eficientes en términos del ahorro monetario que es muy necesario en países como Colombia.

Desarrollo de una aplicación IoT basada en FIWARE para incrementar la eficiencia energética en una Smart City

El desarrollo realizado por Delgado Cavero (2023) consistió en una aplicación basada en FIWARE que espera mejorar la eficiencia energética de los dispositivos, hace especial énfasis en la capacidad de la plataforma para integrar datos en tiempo real, posibilidad de recibir grandes volúmenes de datos y su posterior análisis, destaca la conectividad que tiene el software y posibilidad de desplegarlo a gran escala, especialmente útil si se habla de Smart Cities, pese a ser puesto en marcha solo en un entorno simulado y no contemplar todas las variables de un entorno real, en especial la seguridad y las dificultades de adaptabilidad a otras tecnologías, los componentes políticos reglamentados también forman un obstáculo importante, resulta de gran importancia para el proyecto actual ya que las arquitecturas abiertas y modulares, se pueden aplicar a los entornos domésticos al ser más pequeños, dando la posibilidad de un proyecto a gran escala con la unión de todos los módulos,

Desarrollo de aplicación IoT para la monitorización de consumos eléctricos en una vivienda

Ahora entrando en el entorno doméstico, Llorca Llinares (2020) realiza un proyecto para monitoreo en tiempo real de viviendas, hace uso de un software abierto el ESP8266/ESP32 y dispositivos que no requieren instalación dentro de la vivienda, al mismo tiempo que mantiene un bajo costo en la implementación del proyecto, aunque el proyecto se desarrolló con éxito, pudo incluirse la posibilidad de ampliar la cobertura al revisar su viabilidad y no limitarlo, al mismo tiempo de probar diferentes dispositivos para validar su conectividad con otros sistemas fueran nacionales o privados, el proyecto se validó en un solo entorno sin poner a pruebas otras variables como la conectividad o las interferencias. Es de importancia para el proyecto actual ya que, logró efectivamente la recolección de datos en un entorno real y su almacenamiento con una alta fiabilidad en la información, dando un punto de partida para futuros proyectos y la integración de otras tecnologías. que conlleva a soluciones más complejas y completas.

Aplicaciones de la inteligencia artificial a las energías renovables

Desde una perspectiva analica el investigador Fernández Carrillo (2024) ofrece una revisión acerca del uso de inteligencia artificial en el campo de las energías renovables, destaca las diferentes ventajas que se esperarían al implementar esta innovadora tecnología, como la posibilidad de de predecir consumos, automatización en la operación y la administración en general, haciendo uso de avances en la inteligencia artificial como lo son los modelos de aprendizaje automático y redes neuronales, aunque representa grandes avances y ventajas, por otro lado el estudio también tiene limitaciones, como la literatura

internacional en la que se basa, los acercamientos experimentales limitados, desafíos prácticos como la calidad de los datos, estándares técnicos de cada país además de la infraestructura que requieren y el nivel de avance en el uso de IA que tenga la población de cada país, su aporte es significativo para el proyecto por sus detalles y consideraciones acerca de la IA y su aplicación y la actualidad de la temática tratada,

Sistema de control de luminarias y aires acondicionados y monitoreo de energía eléctrica y temperatura de aulas del edificio de posgrados de la Universidad Libre Seccional Cúcuta

Cambiando de panorama a un proyecto que fue desarrollado en un entorno físico, como lo es el que hacen Granados Guerrero y Duarte Rubio (2021), donde aplican tecnologías IoT para optimizar el consumo de energía del entorno educativo, en esta experimentación se demostraron reducciones medibles especialmente en los aires acondicionados, mediante el uso de sensores ambientales y detectores de movimiento, dentro de los dispositivos usados se tiene microcontroladores Arduino y modelos ESP8266, además de usa una interfaz web funcional, aún en términos económicos es accesible lo que facilita su replicación en otros entornos y su aparente viabilidad técnica, aún así presenta algunas limitaciones en especial el haberse desarrollado en un entorno controlado como lo es la universidad y aunque se implemente los actuadores para el encendido y apagado, el uso de herramientas de predicción pudo dar un resultado mucho más interesante, aunque no detallan los diferentes inconvenientes que se presentaron en conectividad y la ciberseguridad de las conexiones, por lo anterior el proyecto es un aporte verídico de que la integración de diferentes sistema y su correcta configuración pueden generar beneficios reales en la administración de la energía.

Artificial intelligence with IoT for energy efficiency in buildings

Los investigadores de Sayed et al. (2022) realizaron un profundo estudio, que trata acerca de la integración de inteligencia artificial con dispositivos de IoT para la administración energética en edificios inteligentes, hacen especial énfasis en que con el uso de algoritmos de aprendizaje automático mejoran el uso de los dispositivos de climatización, las luminarias y aires acondicionados, dan un aproximado de ahorro o rendimiento que iría entre un 25% y un 40% al utilizar enfoque predictivos y toma de decisiones en tiempo real, aunque ambiciosos los resultados del ahorro energético presentan algunas dificultades para su alcance, entre ellas los modelos fueron probados en entornos ideales que no simulaban un ambiente realista en su mayoría, las barreras tecnológicas y de infraestructura en un entorno real son otro de los factores, el costo energético de la computación en tiempo real y los dispositivos, las mitigaciones para problemas de conectividad y la pérdida de datos, aun así es un gran aporte para el proyecto actual, confirmando el papel estratégico que juega la inteligencia artificial en la administración de la energía y los diferentes problemas que se deberán afrontar para su implementación en un entorno real.

HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving. Energies

Los investigadores Machorro-Cano et al. (2020) realizaron un proyecto que, busca explorar cómo HEMS-IoT un sistema basado en Big Data y aprendizaje automático, puede mediante el monitoreo y análisis predictivo reducir el consumo de energía en un 23%, además de complementarse con ajustes dinámicos de carga y usuarios que acatan las

recomendaciones dadas por el sistema, el estudio aporta al proyecto actual una evidencia experimental bastante fuerte, donde muestra la eficacia de integrar dispositivos IoT con modelos predictivos y visualización en tiempo real para apoyar la toma de decisiones y programar actividades, aun así las pruebas realizadas en el proyecto limitan su aplicabilidad a la vida real, ya que fueron realizadas en entornos donde se cuenta con condiciones ideales de comunicación, los componentes son altamente compatibles y los sistemas de otras tecnologías como las redes AMI existentes no causan afectaciones, por lo que se puede tomar como un concepto de referencia que requiere estudios adicionales para su implementación.

Desarrollo de un prototipo de telegestión IoT para los tomacorrientes en instalaciones eléctricas de baja tensión en Colombia

Dentro de la revisión se encontraron proyectos desarrollados en Colombia como el de Alonso Villegas (2022), en este se desarrolla un prototipo de telegestión con tecnología IoT para instalarse en los tomas de corriente, principalmente serán desplegados en instalaciones de baja tensión en Colombia, esta solución está basada en el uso de dispositivos de bajo costo como los ESP8266, sensores ACS712 y para la comunicación protocolos MQTT, con lo anterior es posible medir y controlar el consumo de energía remotamente, aunque dentro de los limitantes del proyecto desarrollado se encuentra que las pruebas fueron poco extensas, además de no revisarse la seguridad en las comunicaciones, del mismo modo depende de la plataforma en la nube para su funcionamiento por lo que dificulta su ampliación, ya en mayor medida se pudieron realizar pruebas de integración con redes nacionales o revisar las regulaciones locales, el estudio es relevante para la presente investigación debido a que fue desplegado en Colombia, teniendo restricciones económicas e infraestructura limitada, por lo que se demuestra el potencial de implementar el IoT como herramienta accesible para la

administración de energía eléctrica.

Desarrollo de un sistema IoT para el control y monitoreo remoto; y detección y notificación de bombillas apagadas del sistema actual de iluminación de crisantemos en la empresa Flores El Capiro S.A.

El proyecto aplicado que desarrollado por Rodríguez Ascuntar (2023) para la empresa Flores El Capiro S.A, funciona como un sistema de monitoreo para la detección de fallas en el sistema de iluminación de un invernadero agrícola, el sistema se basa en sistemas IoT de tipo ESP32, sensores de tipo LDR y comunicación MQTT con la combinación de estos se monitorea y controla el sistema, el principal aporte al proyecto actual es probar la capacidad de los dispositivos IoT para identificar los fallos en tiempo real, además de poder integrarse para envío de notificaciones automáticas, registro histórico y control median Node-RED y MongoDB para el almacenamiento de información, el proyecto aunque cumple con su objetivo presenta algunas limitaciones, la seguridad en primera instancia, la dependencia de infraestructura con conectividad estable y pruebas de largo plazo que confirmen el tiempo máximo de durabilidad del sistema en ambientes agrícolas desafiantes, el proyecto aporta en gran medida también el haber sido desarrollado en Colombia, lo que avala aún más la posibilidad de desarrollar estos proyectos con la tecnología disponible.

Optimization of DC, AC, and Hybrid AC/DC Microgrid-Based IoT Systems: A Review

Los investigadores Aljafari, Vasantharaj, Indragandhi y Vaibhav (2022) hicieron una comparativa entre las micro redes de corriente continua, corriente alterna y una de corrientes

híbridas las cuales se basan en el uso de IoT, con esta comparación demostraron que la automatización en tiempo real y los algoritmos de control, permiten mejorar la eficiencia y la estabilidad de los sistemas eléctricos distribuidos, algunas limitaciones como el enfoque teórico, los desafíos en la ciberseguridad y más investigación para su implementación en entornos reales especialmente en países que cuenten con redes eléctricas heterogéneas, el aporte que hace este proyecto al panorama general es en cuanto al uso de micro redes híbridas, que ofrecen un mejor balance y flexibilidad operacional, en especial si se integran tecnologías IoT con fuentes de energía renovables lo cual facilita su funcionamiento automático y el análisis.

A Survey on IoT-Enabled Smart Grids: Emerging, Applications, Challenges, and Outlook

El proceso investigativo de Goudarzi et al. (2022) hace énfasis en evaluar el comportamiento que presenta, la integración de dispositivos que cuenten con IoT dentro de una red eléctrica inteligente, de esta forma estructurar apropiadamente y de forma clara las capas tecnológicas que deben conformar una Smart Grid, al mismo tiempo que evalúa el comportamiento con dispositivos IoT y otras tecnologías, entre ellas sistemas SCADA basados en computación distribuida, medidores inteligentes y aplicaciones AMI, algunas limitaciones que se encuentran presentes en el proyecto se derivan del enfoque descriptivo que adoptaron dentro de la investigación, además de evaluarse en entornos donde disponen de todos los recursos y estados óptimos, la ciberseguridad se apoya en propuestas más teóricas que de aplicación real, lo que deja abierta la necesidad de estudios aplicables para mitigar posibles escenarios reales, además de compenetrarse apropiadamente con arquitecturas de comunicación bidireccional para dar respuesta en tiempo real, su aporte es inconmensurable al proyecto actual, ya que la comunicación en tiempo real y la velocidad de respuesta son los

temas más importantes cuando se habla de administración energética, además de nuevos desafíos para las investigaciones en seguridad.

Comparación crítica

Similitudes principales

A continuación se procederá a relacionar las evidencias del proceso de revisión documental realizado, como observación principal se tiene que de los dieciocho proyectos que se seleccionaron, en todos ellos se observó una clara tendencia hacia la integración de tecnologías de administración inteligente como eje central para la gestión de energía, aunque también es debido a la metodología de investigación, la totalidad de los trabajos coinciden en que el uso del internet de las cosas como componente importante para la recolección y transmisión de datos, destacando su clara participación en un proyecto final que integre todas estas tecnologías.

En un porcentaje menos unánime, se encontró que un 40% de los proyectos incorpora herramientas como Big Data o servicios en la nube, los cuales son usados para almacenamiento y procesamiento de datos, además de que el 55% de los estudios complementa el uso de la tecnología IoT con Inteligencia artificial, que usadas en conjunto se espera obtener resultados como la automatización de decisiones y mantenimiento preventivo, adicional a lo anterior usando la IA en conjunto con Big Data se puede conseguir la predicción de consumo, por otra parte un tercio de los proyectos tiende a apoyarse en el uso de redes eléctricas inteligentes o micro redes híbridas para la administración de la energía.

Se puede concluir que la integración de las tecnologías antes mencionadas, son la combinación dominante para el desarrollo de soluciones energéticas para la administración energética, ya que en combinación permiten un trabajo coordinado de monitoreo, control, análisis y acción, lo que en un desarrollo aplicado darán como resultado el surgimiento de sistemas adaptables y autosuficientes, el esqueleto o maqueta básica que se define a través del uso en cerca del 50% de los textos, es el de sensores y actuadores para recolectar información y ejercer las órdenes recibidas, controladores y transmisores para el traslado de información, por último el uso de plataformas para almacenamiento y gestión.

Realizando una recopilación de los dispositivos más usados se pueden listar, placas como ESP32, ESP8266 y Arduino UNO, unidas a estas se tienen herramientas de visualización como ThingSpeak, FIWARE, Node-RED, que juntas conforman un sistema de control económico, accesible en cuanto a tecnología y con la facilidad de operar en módulos o funciones específicas, aunque en su mayoría las investigaciones revisadas con son de carácter teórico, complementan los avances con algoritmos de respuesta o gestión, modelos simulados para realizar prueba de predicción, aportando bases para futuros proyectos.

Llegados a este punto en relación con la localización geográfica en esta caso Colombia, se puede decir que hay un interés creciente pero al mismo tiempo no es el requerido para el uso de tecnologías como la inteligencia artificial, por su parte dentro de los proyectos revisados aproximadamente el 28% corresponde a desarrollos locales, en general son proyectos aislados que van desde la automatización de edificaciones, pasando por el consumo energético, hasta la supervisión de invernaderos agrícolas, su desarrollo fue apoyado principalmente por las mismas universidades y menos del 50% por empresas donde se puso en marcha el proyecto, por ende la realización de estos proyectos es posible aun con las dificultades tecnológicas que presenta el país.

Por consiguiente se puede afirmar que, las similitudes encontradas no solo reflejan coincidencias en el pensamiento de los investigadores, al mismo tiempo se tiene una concordancia en la forma del desarrollo tecnológico, por lo cual se tiene un conocimiento robusto en muchas de las áreas requeridas para este tipo de proyectos, además de hacer uso de algunas tecnologías maduras como apoyo a otras que aún son emergentes, en contraste en el contexto local de Colombia, se depende enormemente de modelos importados y simulaciones desarrolladas en un entorno perfectamente adaptado al modelo, que no se ajustan apropiadamente al entorno latinoamericano.

Diferencias tecnológicas y metodológicas

Dentro del proceso de revisión, se encontró que aunque se comparte un concepto unánime que es el uso de dispositivos IoT, se encuentran diferencias significativas en los enfoques que se tienen para su uso, ya sea por su enfoque técnico, metodológico y de aplicación en el campo experimental, una de las diferencias más notable se encuentra en esta última el entorno aplicado, donde se desarrollan prototipos funcionales en entornos reales y que fue empleado por el 45% de los proyectos, por otro lado el 55% restante tiene un enfoque en las simulaciones y las teorías acerca de la administración energética, por ejemplo revisiones documentales, modelos matemáticos y uso de herramientas de simulación, aunque es un equilibrio dinámico entre la construcción de conocimiento y la práctica, deberá cambiar su tendencia hacia los proyectos aplicados y fortalecer la experiencia realista.

Otras discrepancias se pueden encontrar en la cobertura de los proyectos propuestos, si se compara el tipo de arquitectura que proponen los proyectos internacionales, como micro

redes híbridas, uso de machine learning y plataformas cloud distribuidas, los proyectos encontrados en Colombia se orientan a soluciones puntuales, que emplean controladores de bajo costo que se usan para funcionalidades específicas y poco complejas, esto no representa una desventaja en cuanto a funcionalidad, es una adaptación tecnológica que demuestra la capacidad de usar los recursos y conectividad disponibles para el avance tecnológico.

Tocando el punto de los resultados obtenidos, tenemos por un lado los arrojados por la teoría y simulaciones donde las mejoras en términos de administración energética suelen superar el 50%, por otro lado los calculados por los prototipos experimentales dan como resultado valores moderados y realistas, dando como resultado valores entre el 15% y en los mejores casos 30%, aunque estas mediciones tienden a tener una gran variabilidad debido a las condiciones ambientales, al mismo tiempo que los sensores empleados que suman al consumo energético, esta diferencia se debe principalmente a las condiciones ideales de las simulaciones, pero no por eso dejan de complementarse y buscar un acercamiento en los resultados obtenidos.

La disponibilidad tecnológica y desarrollos basados en protocolos de comunicación forma una parte importante de las diferencias, en los desarrollos de otros países se encuentran protocolos como MQTT, CoAP, AMQP o XMPP, en contraste en los proyectos locales se encuentra el uso de Wi-Fi, comunicaciones por HTTP que presentan un nivel de seguridad mas bajo, además de ser menos favorables para una expansión del proyecto, al mismo tiempo algunos de los estudios proponen el procesamiento de datos en un ámbito local más cercano a la fuente y los actuadores, lo que conlleva un ventaja en latencia comparándolos con enfoques basados en la nube que dependen de comunicaciones por servicios web.

El uso y tratamiento de datos es otro de los factores diferenciales en los proyectos, por un lado los proyectos de otros países tiende a hacer uso de Inteligencia artificial o al menos a sugerir como complemento el uso de este, lo que resulta en proyectos que demarcan un lineamiento más avanzado y ambicioso, los realizados en Colombia tienden a limitar su horizonte enfocado solo en la visualización o el almacenamiento de datos, hasta llegar al envío de notificaciones, aunque se basan en dar solución a un problema realista que es el objetivo de la aplicación práctica, limitan su potencial de desarrollo.

El ámbito social en el que se desarrollan los proyectos es también un factor a tener en cuenta, por un lado el local tiende a hacer uso de las investigaciones para solucionar problemas reales, además de que no da gran importancia a la investigación de teorías o mejoras experimentales, mientras los proyectos internacionales son principalmente teóricos enfocados en buscar mejores soluciones, con un amplio espectro de cobertura y funcionalidad, aunque en sí estas diferencias no representan una debilidad dado que cada una tiene su propio contexto, todas convergen en un ideal la administración energética eficiente.

Avances, vacíos y tendencias metodológicas actuales

En general se denota dentro de los proyectos revisados, un campo de investigación en auge y de rápida evolución, se puede decir que caracterizados por incluir el uso del Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y alguno de los diferentes tipos de sistemas de almacenamiento, dentro de lo observado la mayoría de los proyectos están enfocados en el uso de estas soluciones en entornos industriales, por lo que la aplicación doméstica no ha tenido una participación significativa.

Como ya se ha mencionado anteriormente, más del 70% de los proyectos incorporan algún grado de integración entre IoT, análisis de datos o control, lo que lleva a una tendencia hacia el control inteligente y automatizado de redes eléctricas, al mismo tiempo que los sistemas que cuenta con la participación de algoritmos como aprendizaje automático o aprendizaje por refuerzo, son una minoría emergente y que nos lleva a una innovación enfocada en la predicción de consumos y autogestión de las redes, además de la automatización que permiten combinadas con IoT.

Es prudente destacar que la investigación sobre modelos de micro redes de corriente híbrida y la adopción de protocolos de comunicación innovadores para entornos IoT, son un gran avance que se da hacia la conectividad y la rapidez en las comunicaciones, de igual manera el uso de plataformas abiertas y de bajo costo, permiten el surgimiento de proyectos aplicados originados en estudiantes y proyectos educativos, que darán como origen nuevas innovaciones en el campo de la administración energética.

Generalizando un poco se pueden observar algunos vacíos en los proyectos, entre ellos el 60% tiene limitaciones en su cobertura o dificulta su replicación en otros ambientes, debido a restricciones en la infraestructura de redes, la seguridad o los costos de desarrollo, por otro lado los proyectos aplicados, basan sus resultados en prueba de corta duración, que al igual que con las simulaciones controladas, no permite ver un panorama detallado de las situaciones que se pueden presentar, por otro lado, el factor socioeconómico de los proyectos no es tenido en cuenta en casi ninguno de los proyectos, al no reconocer esta importancia se evita tener en cuenta variables como el comportamiento del usuario, la cultura tecnológica o la capacidad financiera para adquirirlo.

Las tendencias metodológicas además de ser un favor que se presentó en gran medida en las similitudes, se tiene como tendencia y es el uso de tecnologías combinadas, Internet de las cosas, inteligencia artificial y Big Data además del uso de un software con capacidad de análisis, al mismo tiempo da pie a otra de las tendencias los modelos de tipo predictivos y adaptable que incorpora el uso de aprendizaje automático y aprendizaje por refuerzo, que sería el paso a seguir después de la capacidad de análisis y es un red eléctrica inteligente, capaz de reaccionar al entorno y aprender de este para actuar de forma predictiva.

En un contraste con la perspectiva económica surge una tendencia complementaria que es el uso de herramientas accesibles y hardware de bajo costo, principalmente en América Latina donde se presenta como una solución para proyectos fácilmente replicables, que cuentan con la capacidad de cumplir con las tareas programadas, además de dar oportunidades a adaptaciones más completas y costosas pero con una experiencia experimental comprobada.

Identificación de vacíos y oportunidades

Tomando un enfoque externo y otro interno se pueden evaluar diferentes tipos de vacíos y oportunidades, por un lado en la parte interna que se entiende como Colombia que, pese a los notables avances internacionales y el surgimiento de proyectos aplicados dentro del país, que se componen de tecnologías similares que son los dispositivos IoT, la inteligencia artificial y almacenamiento en la nube, si se comparan surge inevitablemente la necesidad de mayor investigación teórica, regulación por parte del país y un apoyo económico en el acceso a mejores tecnologías, ahondando en estos temas se tienen diferentes escenarios.

Como eje principal, la escasez de estudios aplicados al uso en casas y no solo edificios de propiedad horizontal, ya que aun si ambas son residenciales no representan el mismo tipo de desafíos, al mismo tiempo las pruebas experimentales que se tienen son de corta duración ya que principalmente sólo se documenta la puesta en marcha y los resultados positivos iniciales, lo que dificulta conocer qué factores afectan a largo plazo, por lo tanto se puede interpretar como una oportunidad el poder aplicar estas tecnologías en zonas residenciales, que arrojaran nuevas variables a tener en cuenta en las simulaciones, especialmente con la participación del público general, además de la posibilidad de implementar pilotos de larga duración que permitirá obtener evidencia representativa.

Por otro lado la comunicación entre las soluciones presentadas y la infraestructura eléctrica nacional, se tienen en el eje internacional proyectos aislados que solo son aplicados a la estructura interna, sin la participación de los entes encargados del suministro eléctrico, en Colombia sucede una situación similar, solo que sumado a esto las redes administradas por la Comision de Regulacion de Energia y Gas cuenta con su propios protocolos, lo que hace que una solución de administración energética aislada solo pueda medir su impacto en un entorno local, si bien esto no está del todo mal se desperdicia la oportunidad de medirse en los estándares reglamentados, por lo tanto desarrollar iniciativas que promuevan la comunicación con las redes nacionales de energía y sus políticas de medición normativas, darán como resultado análisis más completos y una necesidad política de reglamentar estas interacciones, además de enfocarse en la cobertura a gran escala de las soluciones propuestas.

Un tema que no es ajeno a ninguna de las interacciones tecnológicas es la seguridad, uno de los vacíos que se generan y son más significativos es la ciberseguridad y protección de

los datos, no es desconocido en el mundo actual que existen individuos que buscan aprovechar debilidades en los sistemas, con el objetivo de vulnerar la privacidad de los usuarios y en algunos casos solo provocar daños reales, ahora una solución tecnológica que regule el consumo energético, además que se integre con los dispositivos de una entidad o residencia sería un blanco mas que perfecto, en prácticamente ninguno de los estudios mencionan este apartado fuera de los protocolos de comunicación, por lo cual surge la oportunidad de diseñar estrategias ligeras de seguridad que se puedan aplicar a microcontroladores, que puedan mantener el equilibrio entre protección y costo operativo.

Una vez alcanzado el nivel de los datos se presentan otros vacíos, no existen suficientes conjuntos de información abiertos y etiquetados que permite el entrenamiento de algoritmos de aprendizaje automático que se apliquen al consumo energético, lo que ocasiona el tener que desplegar las soluciones y el entrenar a las IA para entender el contexto en el cual se desarrollan, por lo cual el publicar datos anónimos y en formato estandarizado permitirá adaptar los algoritmos a las diferentes zonas sin depender del entrenamiento personalizado o la configuración adicional de variables.

En cuanto al desarrollo de estas soluciones de administración energética en Colombia y países que cuenta con una topografía similar, se hace necesario solucionar una situación adicional, la brecha en la conectividad dado el extenso y accidentado territorio, donde las zonas pobladas de tipo rurales o periféricas presentan una red limitada o inestable, por lo que las soluciones basadas en la nube o que necesiten una conexión continua a la red pierden funcionalidad, por lo que se presenta la oportunidad de desarrollar proyectos que puedan funcionar en estado híbrido como edge/cloud, que puedan garantizar la continuidad a pesar de fallar de conexión, además de también contemplar las ubicaciones geográficas.

Las interacciones entre los seres humanos y la tecnología, dependen en gran medida de la aceptación social de estas, si bien los cambios se dan y los sistemas puedan demostrar eficiencia, todo dependen de factores sociales independiente de las facultades del sistema para otorgar un ahorro real, por lo que se deben desarrollar procesos de usabilidad y simular las interacciones que tendrán los usuarios con interfaces intuitivas, además los factores económicos representan otro gran desafío para la población y la adaptabilidad del sistema al entorno económico, si bien no se espera que todos usen la solución desarrollada, es importante que se desarrollen prototipos adaptados para todo público, que puedan contar con las funcionalidades básicas propuestas.

En cuanto al tema normativo, dentro y fuera de Colombia se presenta el mismo vacío que es la ausencia del marco regulatorio, por lo cual la puesta en marcha de los proyectos se encontrarán con normas que afectarán su proceso experimental, en Colombia por su parte se cuenta con diferentes leyes que crean una normativa básica para la implementación de estas soluciones que no cubre la mayoría de los escenarios, por lo que incorporar el modelo normativo del país se hace imperativo a la hora de desarrollar estas iniciativas.

Observaciones de la investigación

Como apartado final del proyecto y cumpliendo con el objetivo de la investigación, puede afirmarse que el implementar sistemas de gestión energética en los hogares de Colombianos en el periodo 2025-2030, que usen dispositivos IoT, Big Data e inteligencia artificial, es es ciertamente prometedor, tanto en términos de ahorro financiero como de sostenibilidad, la evidencias recopiladas de los proyectos internacionales, muestran que estas

herramientas permiten una administración eficiente de los recursos energéticos, aun así el éxito de este tipo de proyectos dependen en gran medida de los factores contextuales, como la tecnología a la que se tiene acceso, las políticas regulatorias y la disposición de la población hacia la adopción de las soluciones propuestas.

Si se abordan los factores en más detalle, la madurez tecnológica de Colombia se encuentra en una etapa intermedia, haciendo necesaria la instrucción de la población en los campos tecnológicos y la concientización social de la seguridad, además solo unos pocos avances normativos han establecido las bases legales apropiadas, pero que no constituyen una estructura confiable, para garantizar la integración apropiada de iniciativas tecnológicas en el campo de la administración energética, por otra parte la madurez económica del país no permite, que los dispositivos con tecnología IoT se encuentren al alcance de todo el público en general, por lo que se requerirían subsidios para la adopción de estas tecnologías o una mejora en la economía del público en general.

De acuerdo a la investigación realizada, se puede decir que la instalación de tecnologías para la administración energética en los hogares de los Colombianos, tendría un alto impacto en la población, inicialmente se puede atribuir un impacto medio en la disminución del consumo energético, por otra parte se favorecerá la adopción de fuentes de energía renovables, por ende depender menos de los combustibles para la generación de energía eléctrica lo que disminuiría la contaminación del aire, al mismo tiempo que cualquier beneficio que el gobierno está financiando para los ajustes de los cobros electrónicos disminuiría y permitirá la inversión en otros campos que beneficien a la población.

Referencias Bibliográficas

Agencia Nacional del Espectro (ANE). (2022). Plan Maestro de Gestión del Espectro (PMGE) 2022–2026. ANE – Agencia Nacional del Espectro, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://ane.gov.co/SitePages/Gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/index.aspx?p=24>

AIE (2024), Crecimiento de la capacidad de electricidad renovable por país o región, caso principal, 2005-2028 , AIE, París <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-capacity-growth-by-country-or-region-main-case-2005-2028> , Licencia: CC BY 4.0. AIE (2024), Crecimiento de la capacidad de electricidad renovable por país o región, caso principal, 2005-2028 , AIE, París <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-capacity-growth-by-country-or-region-main-case-2005-2028> , Licencia: CC BY 4.0.

Aljafari, B., Vasantharaj, S., Indragandhi, V., & Vaibhav, R. (2022). Optimization of DC, AC, and Hybrid AC/DC Microgrid-Based IoT Systems: A Review. *Energies*, 15(18), 6813. <https://doi.org/10.3390/en15186813>

Alonso Villegas, Y. (2022). Desarrollo de un prototipo de telegestión IoT para los tomacorrientes en instalaciones eléctricas de baja tensión en Colombia (Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD). Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/48454>

Avellaneda, D. F. (2022). Sistema IoT para seguimiento e identificación de activos en

interiores. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/61559>

Barragán-Charry, J., Silva-Londoño, J. J., Garcés-Quintero, C. S., Jaramillo-Ramírez, O. C., Hoyos-Daza, F., & Bravo-Gómez, L. C. (2022). Sistema de monitoreo de señales eléctricas y control automático para eficiencia energética con integración IoT. *Producción + Limpia*, 17(2), 53–71. Recuperado de <https://doi.org/10.22507/pml.v17n2a4>

Bedoya Sánchez, S. (2022). Estrategias técnico - regulatorias para la implementación de la infraestructura AMI en el horizonte 2030 en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81711>

Boriba Makuere, R. (2020). IoT en el sector energético: software de monitorización y análisis de variables ambientales y energéticas (Trabajo de grado). Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2117/182796>

Castillo Ruíz, J. P. (2022). Diseño y evaluación mediante software de simulación una red IOT que permita el control y monitoreo en tiempo real: Caso de estudio casas inteligentes (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20783>

De Mauro, A., Greco, M. and Grimaldi, M. (2016), A formal definition of Big Data based on its essential features, *Library Review*, Vol. 65 No. 3, pp. 122-135. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/LR-06-2015-0061>

Decreto 3683 de 2003, de 19 de diciembre, por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (CIURE). Diario Oficial de la República de Colombia, n° 45.409, de 19 de diciembre de 2003, pp. 1–5. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=11032>

Delgado Cavero, M. (2023). Desarrollo de una aplicación IoT basada en FIWARE para incrementar la eficiencia energética en una Smart City [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional RiuNet. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/201371>

Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2024). *World Population Prospects 2024: The 2024 Revision*. United Nations. Recuperado de <https://population.un.org/wpp/>

Escobar Carrillo, N., Giraldo García, J. P., & Ramírez Castiblanco, O. L. (2023). Implementación de un sistema IoT-Cloud para el ahorro de agua y energía en el hogar [Trabajo de especialización, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/c140f19d-3526-4467-9436-009a87839856/content>

Fattori, A. C. (2019). Análisis del consumo de energía promedio en dispositivos IoT de baja potencia con Blockchain como solución de seguridad. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/10554/43607>

- Fernández Carrillo, A. (2024). Aplicaciones de la inteligencia artificial a las energías renovables (Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería – ICAI, Universidad Pontificia Comillas). Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/78325/1/TFG%20-%20Fernandez%20Carrillo%2C%20Alberto.pdf>
- García Gómez-Pinto, D. (2019). Análisis e implementación de controladores software para la integración y monitorización de sensores en plataforma de internet of things (Trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Recuperado de <https://oa.upm.es/54273/>
- Godoy, D. A., Bareiro, H., Favret, F., Benítez, J. D., Colloti, G., & Blariza, J. P. (2020, mayo). Propuesta de métricas para comparación de Frameworks IoT. En XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz) (pp. 115–119). Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103550>
- Goudarzi, A., Ghayoor, F., Waseem, M., Fahad, S., & Traore, I. (2022). A Survey on IoT-Enabled Smart Grids: Emerging, Applications, Challenges, and Outlook. *Energies*, 15(19), 6984. <https://doi.org/10.3390/en15196984>
- Granados Guerrero, H. G., & Duarte Rubio, F. E. (2021). Sistema de control de luminarias y aires acondicionados y monitoreo de energía eléctrica y temperatura de aulas del

edificio de posgrados de la Universidad Libre Seccional Cúcuta (Trabajo de grado, Programa de Ingeniería en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad Libre Seccional Cúcuta). Recuperado de

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/20556/Proyecto.pdf>

International Energy Agency (IEA). (2023). *Renewables 2023, Analysis and forecasts to 2028*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>

International Energy Agency (IEA). (2024). *World Energy Outlook 2024*. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

Ley 697 de 2001, de 3 de octubre, por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial de la República de Colombia, nº 44.509, de 3 de octubre de 2001, pp. 1–6. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>

Ley 1341 de 2009, de 30 de julio, por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se crea la Agencia Nacional del Espectro y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial de la República de Colombia, nº 47.426, de 30 de julio de 2009, pp. 1–19. Recuperado de

https://tramites1.suit.gov.co/registro-web/suit_descargar_archivo?A=127407

Ley 1715 de 2014, de 13 de mayo, por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial de la

República de Colombia, nº 49.150, de 13 de mayo de 2014, pp. 1–23. Recuperado de <https://minenergia.gov.co/documents/11977/norm-ley-1715-2014.pdf>

Ley 1978 de 2019, de 25 de julio, por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se distribuyen competencias, se crea un regulador único y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial de la República de Colombia, nº 51.024, de 25 de julio de 2019, pp. 1–32. Recuperado de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30036682>

Ley 2108 de 2021, de 29 de julio, por la cual se considera el acceso a Internet como servicio público esencial y universal y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial de la República de Colombia, nº 51.731, de 29 de julio de 2021, pp. 1–4. Recuperado de https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/TEXTOS_COMPLETOS/7_LEYES/LEYES%202021/Ley%202108%20de%202021%20%28Internet%20como%20servicio%20publico%29.pdf

Llorca Llinares, D. (2020). Desarrollo de aplicación IoT para la monitorización de consumos eléctricos en una vivienda [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional RiuNet. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/151196>

Machorro-Cano, I., Alor-Hernández, G., Paredes-Valverde, M. A., Rodríguez-Mazahua, L., Sánchez-Cervantes, J. L., & Olmedo-Aguirre, J. O. (2020). HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving. *Energies*, 13(5), 1097. <https://doi.org/10.3390/en13051097>

Montúfar Chiriboga, G. J. (2024). El estado del arte de la integración de sistemas inteligentes en la edificación y su impacto en la eficiencia energética. *Revista de Ingeniería, Ciencia y Tecnología (REICIT)*, 4(2), 169–182.

<https://doi.org/10.48204/reict.v4n2.6759>

Morán Corbacho, R. (2021). Técnicas de inteligencia artificial y Big Data en la gestión óptima de parques fotovoltaicos: Estado del arte (Trabajo Fin de Máster, Máster Universitario en Sistemas de Energía Eléctrica, Universidad de Sevilla). Recuperado de

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/72161/fichero/TFM-2161+MOR%C3%81N+CORBACHO%2C+RAFAEL.pdf>

Nur-E-Alam, M., Mostofa, K. Z., Yap, B. K., Basher, M. K., Islam, M. A., Vasiliev, M., Soudagar, M. E. M., & Das, N. (2024). Machine learning-enhanced all-photovoltaic blended systems for energy-efficient sustainable buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 62, 103636. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138824000328>

Ordouei, M., Broumandnia, A., Banirostam, T., & Gilani, A. (2024). Optimization of energy consumption in smart city using reinforcement learning algorithm. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 15(1), 277–290. Recuperado de

<https://doi.org/10.22075/ijnaa.2022.29258.4102>

Prieto Macana, M. S. (2023). Arquitectura Big Data para edificios inteligentes basada en

herramientas Open Source enfocada en la gestión energética [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional UDFJC. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/36251>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2024). AILA: Evaluación del panorama de la inteligencia artificial en Colombia [Informe]. Recuperado de: <https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/aila-evaluacion-panorama-inteligencia-artificial-colombia>

Resolución CREG 101-001 de 2022, de 9 de septiembre, por la cual se establecen las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada (AMI) en el Sistema Interconectado Nacional. Diario Oficial de la República de Colombia, n° 52.177, de 9 de septiembre de 2022, pp. 1–24. Recuperado de https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/pdf/doc_creg_0701_09_2022.pdf

Rodríguez Ascuntar, L. (2023). Desarrollo de un sistema IoT para el control y monitoreo remoto; y detección y notificación de bombillas apagadas del sistema actual de iluminación de crisantemos en la empresa Flores El Capiro S.A. Universidad de Antioquia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10495/34807>

Rodriguez, D. M. (2023). Sistema de monitoreo del suministro eléctrico de un dispositivo de video-vigilancia utilizando tecnologías del Internet de las Cosas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/66997>

Sáenz Cruz, J. (2023). Implementación de un Protocolo de Enrutamiento para Redes de Sensores IoT en CupCarbon. Universidad de los Andes. Recuperado de <http://hdl.handle.net/1992/69431>

Sánchez Valdés, B. (2019). Sistema embebido para la gestión energética basado en tecnología IoT y servicios cloud [Trabajo de fin de grado, Universidad de Alicante]. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/94749>

Sayed, Aya & Himeur, Yassine & Bensaali, Faycal & Amira, Abbas. (2022). Artificial intelligence with IoT for energy efficiency in buildings. 10.1201/9781003304203-12. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/363929966_Artificial_intelligence_with_IoT_for_energy_efficiency_in_buildings

Tightiz, L., & Yang, H. (2020). A comprehensive review on IoT protocols' features in smart grid communication. *Energies*, 13(11), 2762. <https://doi.org/10.3390/en13112762>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2025). Balance energético colombiano: Revisión 2022 - Preliminar 2023. Subdirección de Demanda. Recuperado de https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion_Balance_Energetico_Colombiano_2022%e2%80%932023.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2025a). Boletín estadístico de minas y energía 2020–2024 (S1). UPME. Recuperado de

https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Boletin-estadistico/Boletin_Estadistico_2020-2024_SIVF_Abril_VFD-07abr25.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2025b). Oferta y demanda Sistema de Información Minero Energético Colombiano (SIMEC). UPME. Recuperado de <https://www.upme.gov.co/simec/oferta-y-demanda/>

United Nations, DESA, Population Division. <https://population.un.org/wpp/> license CC BY 3.0 IGO.

Veronese, A., & Nunes Lopes Espiñeira Lemos, A. (2021). Trayectoria normativa de la inteligencia artificial en los países de Latinoamérica con un marco jurídico para la protección de datos: Límites y posibilidades de las políticas integradoras. *Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad Digital*, (2). Recuperado de <https://revistalatam.digital/article/210207/>