



Implementación y Evaluación del Monitoreo no Intrusivo de Cargas Eléctricas en Redes Eléctricas Utilizando el Dispositivo de Medición Inteligente eGEO Analyzer para Optimización y Estrategias de Eficiencia Energética

Autores

Laura Nataly Olarte Sánchez

Luisa Fernanda Rodríguez Gómez

Diego Felipe Martínez Navarro

Proyecto de integración

Director

Álvaro David Arévalo Salazar

Facultad de Ingeniería, Bogotá, diciembre de 2024

Tabla de contenido

Tabla de contenido	2
Lista de tablas	9
Lista de figuras	9
Resumen	11
Introducción.....	12
Objetivos	15
Objetivo general:	15
Objetivos específicos:.....	15
Definición del problema.....	16
Justificación.....	19
Análisis de Requerimiento	21
Requerimientos Funcionales.	21
Monitoreo Del Consumo Eléctrico.....	21
Notificaciones y Alertas en Tiempo Real.....	22
Recomendaciones de Optimización de Consumo	23
Requerimientos no Funcionales	24
Rendimiento Del Sistema.....	24
Facilidad de Uso.....	25
Requerimientos técnicos.....	25
Integración del eGEO Analyzer	26
Conectividad y Transmisión de Datos.....	26
Escalabilidad Del Sistema.....	27
Requerimientos del usuario.....	28
Facilidad de Uso.....	28

Accesibilidad Multiplataforma.....	29
Sencillez en la Visualización de Datos.....	29
Marco Teórico.....	31
Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales (PROURE).....	31
Plan de Acción Indicativo (Pai-Proure) 2017-2022.....	32
Características, Acciones y Metas de Eficiencia Energética en el Sector Residencial	33
Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) 2021-2030.....	36
Características, Acciones y Metas de Eficiencia Energética en el Sector Residencial (2021-2030).....	38
Medidor inteligente	40
Dispositivo de medición inteligente: Egeo Analyzer.....	41
Monitoreo no intrusivo de cargas (NILM).....	42
Desagregación energética.....	43
Tipos de algoritmos.....	44
Análisis de restricciones.....	45
Restricciones técnicas.....	45
Compatibilidad con la infraestructura eléctrica existente	46
Limitaciones en la conectividad de red.....	46
Energía de respaldo para el sistema	46
Recolección y procesamiento de datos.....	47
Limitaciones en la capacidad de almacenamiento de datos	47
Restricciones Normativas.....	47
Ley 2099 de 2021	48

Regulación de la CREG	48
Normas de Interoperabilidad.....	48
Protección de la Información	49
Normas Sobre Equipos Electrónicos	49
Restricciones Económicas.....	49
Costo Inicial de Implementación.....	50
Costo de Mantenimiento y Actualización	50
Costos de Capacitación y Soporte Técnico	50
Acceso a Financiamiento y Subsidios.....	50
Restricciones Sociales	51
Aceptación y Adopción por parte de los usuarios.....	51
Nivel de educación y sensibilización energética.....	51
Barreras socioeconómicas para la adopción.....	52
Cultura y hábitos de consumo	52
Restricciones Ambientales	52
Reducción de la huella de carbono.....	53
Gestión de residuos electrónicos	53
Consumo energético del sistema	53
Sostenibilidad en la fabricación de dispositivos.....	53
Participación en la economía circular	54
Restricciones Cartográficas.....	54
Distribución geográfica de los hogares	54
Conectividad y acceso a redes de datos.....	54
Zonas de alto consumo energético	55
Análisis de densidad poblacional	55

Acceso a fuentes de energía no renovables	55
Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....	56
Solución 1: NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas).....	56
Solución 2: Método Manual de Seguimiento.....	57
Metodología de Selección	58
Selección de la solución	60
Instalación del dispositivo eGEO	60
Configuración del dispositivo eGEO	61
Recopilación, monitoreo y análisis de datos	61
Ajustes para la optimización del consumo de energía.....	61
Análisis de Costos	62
Inversión Total para Poner en Marcha el Proyecto	62
Adquisición de Dispositivos NILM y eGEO Analyzer	63
Dispositivo eGEO Analyzer:.....	63
Mantenimiento:	63
Promoción y Campañas:.....	63
Licencia de Software:	63
Router Wi-Fi:	64
Mano de Obra:.....	64
Computador Técnico:.....	64
Alquiler de Dispositivos eGEO Analyzer	65
Dispositivo eGEO Analyzer.....	65
Mantenimiento.....	65
Promoción y Campañas.....	65
Licencia de Software.....	65

Router Wi-Fi.....	65
Mano de Obra:.....	65
Computador Técnico	66
Plan de implementación	67
Fase 1: Planificación y preparación.....	67
Adquisición de Dispositivos y Equipos de Conectividad	67
Contratación de Personal Técnico.....	67
Desarrollo y Personalización de la Plataforma de Monitoreo	68
Desarrollo de Material Educativo y de Sensibilización	68
Fase 2: Instalación y Configuración.....	68
Capacitación Especializada para el Personal Técnico.....	68
Instalación de Dispositivos en los Hogares Piloto	68
Prueba y Verificación del Sistema	69
Primer Informe de Configuración y Estado del Sistema.....	69
Fase 3: Operación y Monitoreo.....	69
Monitoreo en Tiempo Real y Recolección de Datos.....	69
Mantenimiento Periódico y Soporte Técnico.....	69
Educación Continua y Envío de Informes a Usuarios.....	69
Evaluación Interna del Desempeño.....	70
Fase 4: Evaluación y Expansión.....	70
Evaluación del Impacto y Logro de Objetivos.....	70
Retroalimentación de Usuarios y Ajustes de Mejora Continua.....	70
Preparación para la Expansión del Proyecto	70
Informe Final y Presentación de Resultados:.....	71
Análisis de resultados	72

Resultados obtenidos.....	72
Validación con experto.....	76
Impacto técnico y práctico	76
Impacto Técnico.....	76
Potencial Práctico.....	77
Análisis crítico.....	77
Limitaciones del Prototipo	77
Áreas de Mejora	78
Conclusiones	79
Anexos.....	81
Estudio previo de Consumo Energético por Circuito.....	81
1. Introducción.....	81
2. Circuito A1: Habitación 1 y 2 - Estudio.....	81
3. Circuito A2: Cocina – Zona de lavado y planchado.....	82
4. Circuito B1: Sala – Comedor	82
5. Circuito B2: Habitaciones Secundarias.....	82
6. Conclusión.....	83
Informe de Monitoreo Energético: octubre 2024.....	84
1. Resumen del Consumo Energético por Circuitos.....	84
2. Análisis por Circuito	85
Circuito A1 (Estudio - Habitaciones 1 y 2).....	85
Circuito A2 (Cocina - Zona de Lavado y Planchado).....	86
Circuito B1 (Sala - Comedor)	86
Circuito B2 (Baños - Balcones).....	86
3. Acciones de Mejora por Zona	86

4. Ahorro Estimado con Mejores Prácticas de Uso de Energía:.....	87
5. Conclusiones	88
Referencias	90

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen de metas indicativas de EE en el periodo 2017 -2022.....	33
Tabla 2 Potenciales de reducción de energía.....	38
Tabla 3 <i>Medidas y acciones de eficiencia energética.</i>	39
Tabla 4 <i>Resumen de resultados.</i>	40
Tabla 5 <i>Tabla de soluciones</i>	59
Tabla 6 <i>Inversión Total Del Proyecto</i>	62
Tabla 7 <i>Costo de Venta de Dispositivo</i>	64
Tabla 8 <i>Costo de Alquiler de Dispositivo</i>	66
Tabla 9 <i>Circuito A1</i>	81
Tabla 10 <i>Circuito A2</i> Nota: elaboración propia	82
Tabla 11 <i>Circuito B1</i>	82
Tabla 12 <i>Circuito B2</i>	82
Tabla 13 <i>Valor consumo</i>	85

Lista de figuras

Figura 1 Consumo de energía eléctrica en el sector residencial urbano - Colombia ..	34
Figura 2 Medidas de eficiencia energética.....	35
Figura 3 Reducción de consumo energético.	37
Figura 4 Especificaciones y características.....	42
Figura 5 Diseño	43
Figura 6 Desagregación.....	44
Figura 7 Clasificación básica de algoritmos.	44
Figura 8 <i>Plan de implementación</i>	71
Figura 9 <i>Medidor eGeo</i>	72

Figura 10 <i>Plataforma de Tendencias y Valores de Consumo</i>	73
Figura 11 <i>Corriente Total</i>	73
Figura 12 <i>Voltaje Total</i>	74
Figura 13 <i>Tendencias de Consumo Vivienda</i>	75
Figura 14 <i>Consumo Total</i>	84
Figura 15 <i>Consumo por circuito</i>	85

Resumen

Este proyecto se enfoca en crear un modelo tecnológico de información que promueva el uso racional y eficiente de energía eléctrica en los hogares, con esto se busca reducir el consumo energético en los hogares colombianos, específicamente en Bogotá, donde se preocupa por la escasez de recursos naturales para generar energía y mitigar el impacto ambiental generado.

Por medio de un minucioso análisis de las practicas usadas actualmente en los diferentes hogares Bogotanos y la implementación de nuevas tecnologías se ofrecerán diferentes alternativas para la disminución del consumo energético usando la herramienta eGeo que es un medidor inteligente diseñado para la eficiencia doméstica, comercial o industrial; a su vez se complementará con el monitoreo no intrusivo de cargas que es una técnica de monitoreo de cargas ya que juntos permiten gestionar de manera precisa y real el consumo eléctrico analizando e identificando cuales son los electrodomésticos que generan mayor consumo de energía.

Al identificar los patrones de uso y consumo se pueden tomar decisiones relacionadas con el horario de conexión o remplazamiento de dispositivos que generen mayor consumo, esto para promover el uso responsable y sostenible de la energía identificando posibles puntos críticos de consumo que pueden ser erradicados por medio de alertas que permitan generar acción correctiva inmediata.

Además de reducir los costos de las facturas de energía se contribuye con a una mejor eficiencia energética y reducción del impacto ambiental.

Palabras clave: NILM, eGEO, energía, consumo eléctrico, sostenibilidad, impacto ambiental, monitoreo no intrusivo de cargas.

Introducción

El ahorro energético y las crecientes preocupaciones sobre el cambio climático han llevado a muchos países a replantear sus estrategias energéticas en busca de formas más eficientes de consumo. En Colombia, el Plan de Acción Indicativo PROURE (2019) destaca que el sector residencial representa el 19,2% del consumo final de energía. Este hecho ha impulsado la implementación de medidas de ahorro energético para el período 2021-2030, con un enfoque particular en reducir ineficiencias en áreas como la cocción, la iluminación y la refrigeración.

Para promover un consumo energético más eficiente y consciente, se han establecido objetivos específicos que incluyen la adopción de herramientas digitales avanzadas. Entre estas herramientas, los medidores inteligentes AMI (Advanced Metering Infrastructure) se destacan como una solución clave. Según el programa de uso racional y eficiente de energía PROURE (2019) los resultados arrojaron que la instalación de medidores inteligentes entre 2021 y 2030 podría reducir la demanda energética en un 34,11%, evitando la emisión acumulada de 1.572.776 toneladas de CO₂ y contribuyendo en un 12,40% al esfuerzo global de mitigación.

Dada la necesidad de soluciones que permitan una gestión más precisa y eficiente del consumo de energético, el medidor inteligente eGEO Analyzer emerge como una herramienta avanzada. Desarrollado por un emprendimiento colombiano, eGEO ha integrado tecnología para medir y optimizar el uso de la energía a través de un dispositivo conectado a un sistema de monitoreo, sin necesidad de realizar conexiones invasivas en la red eléctrica. Además, permite a los usuarios acceder y gestionar datos desde cualquier dispositivo con conexión a internet, facilitando un control continuo del consumo energético.

Sin embargo, aunque estos medidores inteligentes dan una visión general útil, se ha demostrado que la información agregada por sí sola no siempre resulta suficiente para motivar

cambios de comportamiento. En este sentido, la información se vuelve aún más valiosa cuando se contextualiza, es decir, cuando se relaciona con aparatos específicos o momentos particulares del día (Darby, 2006). De esta manera, los consumidores pueden identificar áreas de su rutina diaria en las que es posible adoptar medidas más eficientes.

Es en este punto donde el monitoreo no intrusivo de cargas (NILM) juega un papel importante. Este enfoque permite identificar y desagregar el consumo de diferentes dispositivos eléctricos a partir de un único punto de medición, sin necesidad de instalar sensores adicionales en cada aparato. Combinado con el eGEO Analyzer, tiene el potencial de transformar la manera en que los hogares monitorean su consumo eléctrico, ofreciendo una visibilidad detallada en tiempo real sin la necesidad de infraestructura adicional costosa o invasiva, lo que representa una ventaja significativa frente a otras soluciones actuales. A través de la recolección de datos del consumo energético total del hogar, eGEO proporcionaría la información necesaria para que el sistema de monitoreo no intrusivo de cargas identifique y clasifique las cargas eléctricas individuales de cada dispositivo. Esto no solo optimizaría el uso de la energía, sino que también fomentaría una mayor conciencia sobre el consumo eléctrico y la adopción de buenas prácticas.

El presente proyecto tiene como finalidad implementar y evaluar la eficacia del dispositivo eGEO junto con la tecnología NILM, para identificar y clasificar las cargas eléctricas individuales en un hogar a partir de los datos agregados del consumo energético. La combinación de NILM y eGEO permitirá a los usuarios recibir recomendaciones personalizadas sobre cómo optimizar su consumo eléctrico, contribuyendo directamente a mejorar la eficiencia energética en el hogar.

A través de este proyecto, se buscará no solo identificar los electrodomésticos en uso en un entorno doméstico, sino también aumentar la conciencia de los usuarios sobre su comportamiento energético. Demostrando que la implementación del monitoreo no intrusivo

de cargas NILM junto con dispositivos de monitoreo inteligente AMI ofrece una solución escalable y accesible para los consumidores y las empresas de servicios públicos, permitiendo una gestión más eficaz de la demanda energética.

Objetivos

Objetivo general:

Implementar un sistema integrado que combine el uso del medidor inteligente eGEO y la técnica de monitoreo no intrusivo de cargas para optimizar el consumo energético en hogares bogotanos, proporcionando información detallada sobre el uso de cada dispositivo y promoviendo hábitos más sostenibles y eficientes en el hogar.

Objetivos específicos:

- Resaltar los beneficios de la desagregación energética que permita distinguir el consumo de los diferentes circuitos eléctricos a partir de datos agregados del sistema de monitoreo.
- Crear un perfil de consumo eléctrico para cada dispositivo identificado basado en los datos recolectados por el sistema de monitoreo no intrusivo de cargas y el dispositivo eGEO, y desarrollar una plataforma de visualización de datos que permita a los usuarios monitorear el consumo eléctrico por dispositivo en tiempo real.
- Identificar patrones de uso y tendencias de consumo de dispositivos eléctricos en el hogar para detectar ineficiencias y áreas potenciales de ahorro energético.
- Proporcionar un análisis sobre el impacto potencial del sistema monitoreo no intrusivo de cargas en la reducción del consumo energético y su contribución a la eficiencia energética a nivel doméstico, realizando un análisis comparativo del consumo antes y después de la implementación.

Definición del problema

En el contexto del desarrollo humano, los recursos naturales son esenciales para el progreso económico de las naciones. El petróleo, uno de los recursos más explotados, ha sido fundamental en sectores como el transporte y la generación de energía eléctrica. Sin embargo, su uso contribuye significativamente a la huella de carbono (CO₂), generando un impacto ambiental irreversible.

A pesar del auge de fuentes de energía renovable, como la eólica y solar, el uso predominante de combustibles fósiles continúa contribuyendo al calentamiento global y otros problemas ambientales. Aunque estas energías alternativas son más limpias, la sociedad aún no ha adoptado un enfoque adecuado para optimizar su consumo de energía. Es crucial preguntarnos si estamos haciendo un uso responsable de la electricidad en nuestros hogares.

La creciente demanda de energía en los hogares bogotanos, impulsada por el uso intensivo de dispositivos electrónicos y electrodomésticos, genera presiones significativas tanto a nivel económico como ambiental. Esta tendencia ha contribuido al aumento de la huella de carbono de la ciudad, en gran parte debido a la dependencia de fuentes de energía no renovables. En este contexto, el desafío es doble: por un lado, se necesita educar a los usuarios para que comprendan su impacto en el entorno, y por otro, es crucial proporcionarles las herramientas necesarias para optimizar su consumo energético.

El consumo promedio de 1.078 kWh per cápita en Bogotá refleja el comportamiento energético de los hogares urbanos (OAB, oab.ambientebogota.gov.co, 2021), con un alto uso concentrado durante las horas pico (entre las 6:00 p.m. y 9:00 p.m.), cuando la demanda energética aumenta significativamente debido a actividades cotidianas como la iluminación y el uso de electrodomésticos. Aproximadamente el 30% del consumo diario en hogares ocurre en estas horas, lo que ejerce presión sobre la red eléctrica, incrementa el costo del servicio y,

dado que gran parte de la electricidad proviene de fuentes no renovables, aumenta la huella de carbono.

La variación del consumo entre estratos socioeconómicos es notable. En los estratos más bajos, el acceso a tecnologías eficientes es limitado, lo que resulta en un uso energético menos optimizado a pesar de tener menos dispositivos (Salle, 2022). En contraste, los estratos más altos suelen tener acceso a electrodomésticos modernos y más eficientes, pero el mayor número de aparatos electrónicos eleva el consumo total. Estas diferencias subrayan la necesidad de implementar tecnologías como el monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas para promover un uso más eficiente y reducir el impacto ambiental.

El mayor uso de energía no solo provoca un aumento en las facturas de los hogares, especialmente en los sectores más vulnerables, sino que también contribuye a la creciente presión sobre los recursos naturales. La mayoría de la energía consumida en la ciudad proviene de fuentes no renovables, lo que incrementa la huella de carbono y agrava el impacto del cambio climático (OAB, oab.ambientebogota.gov.co, 2021). En este contexto, resulta urgente promover el uso eficiente de la energía y adoptar soluciones sostenibles que permitan mitigar los efectos negativos de este creciente consumo energético.

La falta de conciencia sobre el uso eficiente de la energía y la carencia de sistemas de monitoreo adecuados contribuyen a un uso desmedido de los recursos, agravando la huella de carbono de la ciudad y dificultando los esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático. Por lo tanto, es urgente implementar soluciones que promuevan el consumo consciente, optimizando el uso de la energía y educando a los usuarios sobre el impacto ambiental de sus decisiones cotidianas.

Una solución efectiva al problema del consumo irresponsable de energía eléctrica en los hogares de Bogotá es la Implementación del Monitoreo No Intrusivo de Cargas Eléctricas

(NILM), a través del dispositivo eGEO Analyzer, representa una solución eficaz para abordar estos problemas. Al permitir un monitoreo detallado del consumo energético en tiempo real, este sistema capacita a los usuarios para identificar qué electrodomésticos son los responsables del mayor consumo. Con esta información, los usuarios pueden ajustar su comportamiento para reducir el uso energético en horarios pico y tomar decisiones informadas, como el reemplazo de dispositivos ineficientes por alternativas más sostenibles.

Además, la implementación de este sistema no solo permite optimizar el consumo energético, sino que también ayuda a reducir la huella de carbono de los hogares. Mediante la recolección de datos detallados, se pueden generar indicadores clave de rendimiento (KPIs) que miden, por ejemplo, la reducción en el consumo durante los momentos de mayor demanda o el impacto directo en las facturas de energía. Estos KPIs, al ofrecer retroalimentación constante, incentivan un cambio continuo en los hábitos de consumo, lo que en última instancia se traduce en una menor presión sobre los recursos naturales y una disminución efectiva de las emisiones de CO₂.

En este sentido, no solo estamos frente a un reto tecnológico, sino también a una responsabilidad colectiva. El mal uso de la energía no solo tiene repercusiones económicas, sino que afecta de manera directa a nuestro entorno. A través de este sistema, buscamos educar a los consumidores y fomentar una cultura de consumo responsable que contribuya a mitigar el cambio climático y sus efectos.

¿De qué manera la implementación del Monitoreo No Intrusivo de Cargas Eléctricas (NILM) mediante el dispositivo eGEO Analyzer puede optimizar el consumo energético en los hogares de Bogotá, promoviendo una reducción eficiente de la huella de carbono, y generar indicadores clave que orienten la toma de decisiones hacia prácticas sostenibles?

Justificación

La implementación de NILM (Non-Intrusive Load Monitoring) se justifica ampliamente desde múltiples perspectivas: ambiental, económica y social. Ante los efectos del cambio climático, la transición hacia un uso eficiente de la energía es una prioridad global, tanto para mitigar los impactos medioambientales como para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, tecnologías como NILM juegan un papel fundamental al permitir que los hogares monitoreen su consumo energético de manera sencilla y accesible, sin la necesidad de realizar instalaciones invasivas.

El sistema identifica los patrones de consumo de cada dispositivo en el hogar, lo que facilita la toma de decisiones informadas para reducir el uso excesivo de energía. Al detectar los picos de consumo, los usuarios pueden optar por reemplazar los electrodomésticos más ineficientes o cambiar sus hábitos de uso, lo que conlleva un ahorro significativo en los costos energéticos.

Desde un punto de vista económico, la reducción del consumo energético representa no solo una oportunidad de ahorro para las familias, sino también una forma de aliviar la presión sobre las redes eléctricas, especialmente en momentos de crisis energética global. Además, este tipo de soluciones tiene el potencial de desbloquear ciertas barreras regulatorias en el sector energético, demostrando que es posible integrar tecnologías avanzadas en los hogares sin complicaciones técnicas o elevados costos. (blogs.iadb.org, 2024)

Al generar datos precisos sobre el consumo eléctrico, NILM también puede ser una herramienta valiosa para diseñar políticas energéticas más eficaces y para apoyar los esfuerzos académicos que buscan contribuir a la reducción de emisiones y la mejora de la eficiencia energética. De esta manera, la tecnología no solo facilita la optimización del consumo en el corto plazo, sino que también contribuye a los compromisos globales de reducción de emisiones

de CO2 establecidos en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y en el Acuerdo de París. (ambiente, 2024)

Por otro lado, socialmente, este tipo de proyectos fomenta la concienciación pública sobre el uso responsable de la energía y promueve prácticas energéticas más sostenibles. Al facilitar el acceso a herramientas que permiten un control directo del consumo, las personas se vuelven más conscientes de su impacto ambiental y son más propensas a adoptar hábitos que contribuyan a la reducción de su huella de carbono.

En última instancia, el NILM no solo ofrece una solución técnica a la problemática del consumo energético, sino que también genera beneficios económicos y sociales que van en línea con los esfuerzos internacionales por construir un futuro más sostenible y ambientalmente responsable. Al implementar esta tecnología en los hogares, se contribuye activamente a la creación de un modelo energético que responde a las necesidades del presente sin comprometer los recursos de las generaciones futuras.

Análisis de Requerimiento

El objetivo de este análisis es identificar y definir de manera clara los requerimientos funcionales, no funcionales, técnicos, legales y del usuario, que garantizarán el correcto desarrollo e implementación del sistema. Se busca establecer cómo el sistema permitirá monitorear y optimizar el consumo energético en los hogares, ofreciendo información en tiempo real, generando informes personalizados, y recomendando prácticas para reducir la huella de carbono. Este análisis será la base para garantizar que el proyecto cumpla con los objetivos de sostenibilidad y optimización del consumo eléctrico en los hogares bogotanos.

Vamos a clasificar los requerimientos de la siguiente manera:

1. Requerimientos funcionales
2. Requerimientos no funcionales
3. Requerimientos técnicos
4. Requerimientos del usuario

Requerimientos Funcionales.

Este requerimiento se enfoca en las capacidades que debe tener el sistema para realizar ciertas operaciones que tienen como único fin gestionar el consumo responsable de energía eléctrica en los hogares, de esta manera revisaremos los principales requerimientos funcionales que se van a incluir en el desarrollo del proyecto:

Monitoreo Del Consumo Eléctrico

El sistema debe ser capaz de realizar un monitoreo detallado del consumo eléctrico de cada electrodoméstico de manera individual, sin necesidad de instalar sensores adicionales en los dispositivos. Esto implica que el eGEO Analyzer, mediante la tecnología de monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas (NILM), sea capaz de desagregar el consumo total de energía en el hogar en componentes individuales, diferenciando entre los distintos aparatos conectados a

la red eléctrica. Esta función es esencial para identificar los dispositivos que están generando un mayor consumo en tiempo real, permitiendo al usuario visualizar de manera precisa qué aparatos están demandando más energía en cualquier momento. Este desglose detallado debe ser accesible al usuario a través de una interfaz sencilla, que le permita ver el consumo por dispositivo y la suma total de la energía utilizada.

El objetivo principal de esta funcionalidad es facilitar la toma de decisiones por parte de los usuarios, permitiéndoles ajustar sus hábitos de consumo y reducir el uso de energía de aquellos electrodomésticos que estén demandando más electricidad. Al tener acceso a estos datos en tiempo real, el usuario podrá identificar patrones de consumo ineficiente y tomar medidas correctivas de inmediato, como apagar o desconectar dispositivos que no estén en uso. Esta capacidad de monitoreo también permite realizar un mantenimiento preventivo, ya que un consumo excesivo puede indicar un mal funcionamiento en algún dispositivo, lo que ayudará al usuario a actuar antes de que se presenten fallas más costosas o un desperdicio energético innecesario.

Notificaciones y Alertas en Tiempo Real

El sistema debe contar con una funcionalidad que permita enviar notificaciones y alertas en tiempo real cuando se detecte un consumo anormal o ineficiente en cualquiera de los dispositivos conectados. Estas alertas se envían de forma automática tan pronto como el sistema identifique un uso fuera de los patrones habituales de consumo, informando al usuario de cualquier actividad que pueda estar elevando el gasto energético de manera inesperada. Por ejemplo, si un electrodoméstico sigue consumiendo energía durante un período en el que normalmente estaría apagado o en reposo, el sistema notifica al usuario, permitiéndole tomar acciones correctivas inmediatas. Esta funcionalidad ofrece una capa adicional de control y

gestión del consumo energético, asegurando que los usuarios se mantengan informados sobre posibles anomalías en tiempo real.

Esta función debe ayudar a los usuarios a evitar el consumo excesivo o innecesario de energía, informándoles de manera oportuna para que puedan tomar decisiones rápidas. Esto no solo contribuye a la reducción de los costos de energía, sino también al mejor uso de los recursos, disminuyendo el desperdicio y promoviendo una mayor eficiencia energética en el hogar. Las alertas permiten que los usuarios identifiquen electrodomésticos que podrían estar funcionando de manera ineficiente o fuera de lo habitual, como cuando se dejan encendidos por error, evitando el gasto continuo de electricidad innecesaria. Así, el sistema no solo actúa como un monitor pasivo, sino como una herramienta activa que promueve la eficiencia en el consumo diario de energía.

Recomendaciones de Optimización de Consumo

El sistema debe ser capaz de proporcionar recomendaciones proactivas basadas en los patrones de consumo energético detectados. Estas sugerencias no solo ayudarán a los usuarios a optimizar el uso de sus electrodomésticos, sino también a mejorar la eficiencia general del hogar. Las recomendaciones pueden incluir ajustes como cambiar los horarios de uso de ciertos dispositivos para fuera de las horas pico, cuando la demanda energética es menor y las tarifas de electricidad son más bajas. Además, el sistema puede alertar sobre la necesidad de mantenimiento en equipos que están mostrando un consumo anormal, lo que puede ser indicativo de fallos o deterioro. Estas sugerencias también pueden ir más allá, recomendando la sustitución de electrodomésticos antiguos por versiones más eficientes, que consumen menos energía y tienen un menor impacto ambiental.

El objetivo de estas recomendaciones es reducir el consumo energético total del hogar, promoviendo mejores hábitos de uso y fomentando un mayor control sobre los dispositivos de

alto consumo. Al recibir sugerencias personalizadas basadas en su propio historial de consumo, los usuarios pueden hacer ajustes precisos que impacten positivamente en su factura de electricidad y en la sostenibilidad ambiental de su hogar. Además, al optimizar el uso de energía, no solo se reducen los costos, sino que se contribuye a la conservación de recursos y la reducción de la huella de carbono. Esta funcionalidad convierte al sistema en una herramienta activa de educación sobre el consumo responsable de energía, guiando a los usuarios hacia prácticas más eficientes y sostenibles.

Requerimientos no Funcionales

Los requerimientos no funcionales definen cómo debe comportarse el sistema, asegurando que sea rápido y eficiente en el procesamiento de datos, fácil de usar para los usuarios, y que garantice la seguridad y privacidad de la información.

Rendimiento Del Sistema

El rendimiento del sistema es crucial para asegurar que pueda procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real sin generar retrasos, especialmente cuando se trata de mostrar el consumo energético o generar informes. Dado que el sistema monitorea el uso de energía en tiempo real, debe ser capaz de manejar múltiples dispositivos y flujos de datos simultáneamente, garantizando que el análisis de consumo y la generación de alertas se realicen sin interrupciones ni pérdida de precisión. Esto es fundamental para que los usuarios puedan tomar decisiones informadas al instante, sin tener que esperar tiempos de procesamiento prolongados que podrían afectar la usabilidad y la eficiencia del sistema.

Lo que se busca es garantizar una experiencia fluida y precisa para los usuarios, sin importar cuántos dispositivos estén conectados al sistema o el volumen de datos que se procesen. Por ejemplo, en un hogar con varios electrodomésticos, el sistema debe ser capaz de desglosar el consumo individual de cada dispositivo sin comprometer el rendimiento general

del sistema. La capacidad de gestionar grandes cantidades de datos en tiempo real permite a los usuarios obtener un desglose detallado del consumo energético sin retrasos, asegurando una experiencia constante y confiable.

Facilidad de Uso

El sistema debe ser fácil de usar, diseñado para que cualquier usuario, independientemente de su nivel técnico, pueda interactuar con él sin complicaciones. La interfaz debe facilitar la navegación y permitir a los usuarios acceder rápidamente a los datos más relevantes sobre su consumo energético con unos pocos clics. Los gráficos y reportes deben ser claros y visualmente accesibles, ayudando a cualquier persona a entender el uso de energía en su hogar sin necesidad de navegar por configuraciones complicadas. Esta facilidad de uso permite que los usuarios tomen decisiones informadas de manera rápida y eficiente, mejorando su experiencia al usar el sistema.

La facilidad de uso también implica que tanto los usuarios que buscan una visión general del consumo energético como aquellos que desean realizar análisis más detallados puedan hacerlo con la misma facilidad. Por ejemplo, un usuario debería poder ingresar a la plataforma, visualizar el consumo total de energía en su hogar y, en pocos pasos, identificar qué dispositivo está consumiendo más energía. Al eliminar complejidades innecesarias, el sistema promueve una adopción más amplia y un uso más eficiente de la energía, ayudando a los usuarios a gestionar su consumo de manera sencilla y eficaz.

Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos de este proyecto se centran en garantizar que el sistema funcione de manera eficiente, escalable y segura. Estos incluyen la integración del eGEO Analyzer con la red eléctrica del hogar para monitorear el consumo energético sin necesidad de

sensores adicionales, la conectividad estable a través de Wi-Fi o redes móviles para transmitir datos en tiempo real, y el almacenamiento seguro de grandes volúmenes de datos históricos.

Integración del eGEO Analyzer

El sistema debe integrarse de manera adecuada con la red eléctrica del hogar a través del dispositivo eGEO Analyzer, el cual debe ser completamente compatible con las instalaciones eléctricas convencionales. Gracias a la tecnología NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas Eléctricas), el dispositivo puede recolectar datos precisos sobre el consumo energético de los electrodomésticos, sin la necesidad de instalar sensores adicionales en cada uno de ellos. Esta capacidad le permite desglosar el consumo total del hogar en componentes individuales, brindando al usuario una visión clara y detallada del uso de energía de cada dispositivo. Esto facilita el monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico en el hogar, sin requerir intervenciones invasivas en la infraestructura existente.

Además de su capacidad de descomponer el consumo energético, el sistema debe garantizar una fácil instalación y una integración eficiente con las redes eléctricas actuales de los hogares. Este diseño flexible permitirá que el sistema funcione en diferentes configuraciones eléctricas, desde instalaciones más antiguas hasta redes modernas, sin comprometer la precisión o la calidad de los datos recolectados. Al facilitar una instalación rápida y no intrusiva, el sistema asegurará que los usuarios puedan beneficiarse de un análisis detallado de su consumo eléctrico desde el primer momento, optimizando su uso de energía y mejorando la eficiencia energética del hogar.

Conectividad y Transmisión de Datos

El sistema debe garantizar una conectividad estable mediante Wi-Fi o redes móviles, permitiendo la transmisión continua de los datos de consumo energético desde el eGEO Analyzer hasta una plataforma en la nube. Esta conectividad es esencial para que los usuarios

puedan monitorear su consumo energético en tiempo real, obteniendo información actualizada sobre el comportamiento de los electrodomésticos en su hogar. El sistema debe poder transmitir estos datos de manera eficiente, sin interrupciones ni retrasos, asegurando que el flujo de información desde el dispositivo hacia la nube se mantenga constante y sin pérdidas. De esta manera, los usuarios pueden acceder a los datos desde cualquier lugar a través de una aplicación móvil o una plataforma web.

Además, la transmisión de datos en tiempo real es crucial para permitir que los usuarios reciban alertas inmediatas o informes detallados sobre su consumo energético. Esto les permitirá tomar decisiones rápidas y ajustar su uso de energía en el momento, basándose en la información proporcionada por el sistema. El acceso a los datos debe ser sencillo y disponible en todo momento, lo que garantiza una gestión eficiente del consumo energético. Esta capacidad de acceso remoto, junto con la actualización constante de los datos, facilita una mayor conciencia sobre el uso energético y ayuda a los usuarios a optimizar su consumo en función de sus necesidades específicas y las alertas generadas.

Escalabilidad Del Sistema

El sistema debe ser escalable, lo que implica que debe manejar un número creciente de dispositivos sin comprometer su rendimiento. A medida que se conecten más electrodomésticos o dispositivos, el sistema debe seguir procesando datos de consumo energético con la misma eficiencia, sin perder precisión ni velocidad. Esto es crucial para hogares donde la cantidad de dispositivos puede aumentar, permitiendo que el sistema mantenga su capacidad de monitoreo en tiempo real sin interrupciones.

La adición de nuevos dispositivos no debe afectar la velocidad de procesamiento ni la capacidad del sistema para generar informes y alertas de manera eficiente. Incluso con más dispositivos conectados, el sistema debe operar sin requerir reconfiguraciones complejas,

manteniendo la misma experiencia fluida para el usuario. Esto garantiza que el sistema siga siendo eficaz, proporcionando a los usuarios informes detallados y alertas en tiempo real, independientemente del crecimiento en la cantidad de dispositivos conectados.

Requerimientos del usuario

Los requerimientos del usuario en este proyecto se enfocan en garantizar una experiencia accesible y personalizada. Esto implica que el sistema debe ser fácil de usar, con una interfaz intuitiva que permita a cualquier usuario, independientemente de su nivel técnico, acceder a datos sobre su consumo energético de manera clara.

Facilidad de Uso

El sistema debe ser intuitivo y fácil de usar, diseñado para que cualquier usuario, independientemente de su nivel técnico, pueda acceder a la información sin complicaciones. La interfaz debe ser lo suficientemente clara y directa como para permitir que los usuarios interactúen con los datos de consumo energético de manera simple, evitando barreras tecnológicas que dificulten su comprensión. La navegación debe ser sencilla, con accesos rápidos y visibles a las funciones principales del sistema, como los reportes y las alertas. Esto asegura que los usuarios puedan obtener la información que necesitan en el menor número de pasos posible, aumentando la eficiencia del sistema y la satisfacción del usuario.

Una experiencia de usuario sin barreras fomenta una mayor adopción del sistema, ya que incluso aquellos con poca o ninguna experiencia técnica pueden utilizarlo sin problemas. El sistema debe ofrecer herramientas visuales, como gráficos fáciles de interpretar y menús claros, para que cualquier persona pueda comprender y gestionar su consumo energético de manera eficiente. Al reducir la complejidad en la interfaz, el sistema incentiva un uso más frecuente y proactivo, permitiendo que los usuarios optimicen su consumo energético sin

necesidad de una curva de aprendizaje extensa. Esta accesibilidad es clave para que el sistema tenga un impacto real y generalizado en la optimización energética del hogar.

Accesibilidad Multiplataforma

El sistema debe ser accesible desde múltiples plataformas, lo que incluye aplicaciones móviles y navegadores web. Esto permitirá a los usuarios acceder a los datos de consumo energético en tiempo real desde cualquier lugar, ya sea desde un smartphone, una tablet o un ordenador. La disponibilidad multiplataforma asegura que los usuarios no estén limitados por un solo dispositivo y puedan monitorear su consumo de manera flexible, adaptándose a sus rutinas diarias.

La accesibilidad remota garantiza que los usuarios puedan realizar un seguimiento continuo de su consumo energético, incluso cuando no estén en casa. Esto no solo brinda comodidad, sino también la capacidad de tomar decisiones informadas sobre el uso de la energía en cualquier momento. Ya sea para recibir alertas, visualizar informes o hacer ajustes inmediatos, los usuarios tendrán flexibilidad total en el monitoreo y control del sistema, lo que facilita una gestión energética más eficiente.

Sencillez en la Visualización de Datos

Los usuarios deben poder visualizar sus datos de consumo energético de manera clara y sencilla. Para ello, es fundamental que los gráficos, tablas y reportes presenten la información de forma visualmente atractiva y fácil de interpretar. Esto permitirá a los usuarios identificar rápidamente patrones de consumo o posibles ineficiencias sin necesidad de un análisis técnico complejo. La simplicidad en la presentación de datos ayuda a que los usuarios comprendan mejor cómo y cuándo están utilizando la energía, facilitando la toma de decisiones informadas sobre su consumo diario.

Además, la sencillez en la visualización permite que cualquier usuario, independientemente de su experiencia técnica, pueda interactuar con los datos de manera efectiva. Al ofrecer una interfaz amigable y bien estructurada, el sistema incentiva un análisis proactivo del consumo energético, lo que facilita la optimización del uso de los recursos. Esta accesibilidad visual es clave para que los usuarios actúen rápidamente ante ineficiencias detectadas y puedan ajustar sus hábitos de consumo para mejorar la eficiencia energética en sus hogares.

Marco Teórico

Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales (PROURE)

La Ley 697 de 2001 estableció el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) en Colombia para incentivar el desarrollo de fuentes alternativas de energía y el uso racional y eficiente de la energía. Al delinear los fundamentos legales, técnicos, financieros y económicos necesarios para apoyar iniciativas de eficiencia energética que fueran comercialmente exitosas y ambientalmente sostenibles, esta ley representó un punto de inflexión en la estrategia energética de la nación (Congreso de la República de Colombia, 2001).

Al implementar tecnología eficiente y prácticas de consumo responsable, PROURE tiene como objetivo minimizar el consumo de energía en varios sectores, incluidos el residencial, comercial, industrial y de transporte. Además, en un esfuerzo por diversificar las fuentes de energía del país y depender menos de energías no renovables como el carbón y el petróleo, este programa crea estándares para el desarrollo y la adopción de energías renovables como la solar y la eólica.

Para lograr estos objetivos, el PROURE fomenta el desarrollo de incentivos financieros y económicos que estimulen la inversión en iniciativas de eficiencia energética. También se enfoca en la educación y sensibilización de la población sobre la importancia del uso racional de la energía, estableciendo estrategias para la promoción de hábitos de consumo más sostenibles y responsables (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

La implementación efectiva de este programa contribuye no solo a mejorar la eficiencia energética y reducir costos, sino también a fomentar una mayor sostenibilidad ambiental en el largo plazo. (UPME, 2017)

Plan de Acción Indicativo (Pai-Proure) 2017-2022

El Programa para el Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE), encabezado por la Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME) de Colombia, es el eje del Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética (PAI) para los años 2017-2022. En este plan se establece un objetivo acumulado de eficiencia energética de 699.678 terajulios (TJ), equivalente al 9,05% del consumo de energía proyectado para 2022. Por sectores, los objetivos son los siguientes: residencial (0,73%), terciario (1,13%), industria (1,71%) y transporte (5,49%). (UPME, 2017)

El objetivo principal del PAI 2017-2022 es desarrollar iniciativas sectoriales y estratégicas que faciliten la consecución de las metas de eficiencia energética. Estas iniciativas buscan mejorar la calidad de vida de los colombianos e impulsar la competitividad de la nación, y promueven la seguridad energética y el cumplimiento de compromisos internacionales en temas ambientales. (UPME, 2017)

Para alcanzar estos objetivos, el PAI 2017-2022 se establece seis objetivos específicos:

- Definir metas de eficiencia energética costo-efectivas para los diferentes usuarios finales de energía.
- Impulsar un mercado de bienes y servicios eficientes, estableciendo condiciones económicas, técnicas y regulatorias favorables.
- Fortalecer instituciones y fomentar iniciativas empresariales para desarrollar proyectos de eficiencia energética.
- Facilitar la aplicación de normas e incentivos para promover proyectos y subprogramas del PROURE.
- Fomentar una cultura de uso sostenible y eficiente de los recursos energéticos.

- Alinear las metas de eficiencia energética con los compromisos internacionales adquiridos por Colombia en acuerdos como la COP21.

La nueva política de eficiencia energética del Ministerio de Minas y Energía (MME) se enmarca en las recomendaciones de la propuesta. Se basa en información recopilada por la UPME entre 2010 y 2015, que incluye predicciones de uso de gas y electricidad, caracterizaciones energéticas de cada sector y análisis costo-beneficio. Las metas para 2022 se establecen por sector y tipo de uso energético.

Tabla 1

Resumen de metas indicativas de EE en el periodo 2017 -2022

METAS INDICATIVAS DE AHORRO 2017 - 2022		
SECTOR	METAS DE AHORRO (TJ)	METAS DE AHORRO (%)
TRANSPORTE	424,408	5,49%
INDUSTRIA	131,859	1,71%
TERCIARIO	87,289	1,13%
RESIDENCIAL	56,121	0,73%
	699,677	9,06%

Nota. Resumen de metas. Tomado de (UPME, 2024)

Características, Acciones y Metas de Eficiencia Energética en el Sector Residencial

Los tres principales consumidores de energía eléctrica en los hogares colombianos son la iluminación (10%), la televisión (20%) y la refrigeración (39%). La alta proporción de consumo en refrigeración se debe a la predominancia de equipos de bajo desempeño energético en los estratos socioeconómicos más bajos, que abarcan más del 85% de la población. Aunque las empresas de servicios públicos y los comercios han otorgado subsidios o créditos para renovar equipos, muchos propietarios usan electrodomésticos que consumen mucha energía, como refrigeradores, que pueden consumir hasta 200 kWh al mes por mal funcionamiento o problemas de mantenimiento. Se puede lograr una reducción anual del consumo de energía de

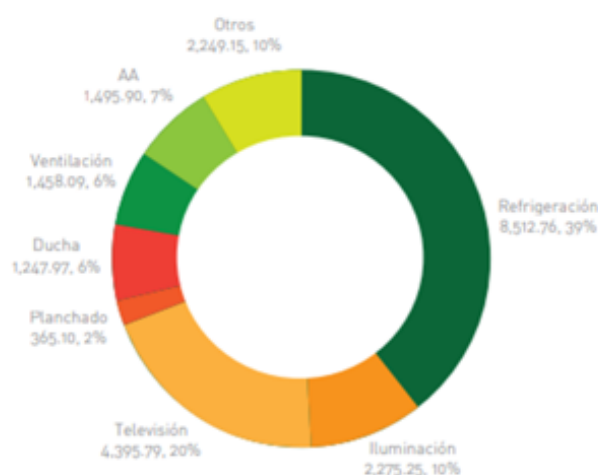
1.702 GWh reemplazando equipos de refrigeración con más de diez años de antigüedad. Iniciativas como la creación de la NAMA de refrigeración doméstica, que incluye apoyo a la industria, un esquema de sustitución de equipos para los estratos más bajos, y la disposición final adecuada de los equipos antiguos.

Promocionar la sustitución de equipos ineficientes sigue siendo un objetivo importante. Hay proyectos para aumentar la eficiencia de los acondicionadores de aire y refrigeradores, y programas de autogeneración de energía con fuentes renovables y el uso de energía solar para precalentar el agua.

En cuanto a la iluminación, aunque ya no se comercializan bombillas incandescentes, estas aún representan un 23% de las luminarias instaladas en el sector residencial, que representan el 56% del consumo de iluminación en el sector. Las bombillas LED y fluorescentes compactas son más eficientes energéticamente y son cada vez más populares.

Figura 1

Consumo de energía eléctrica en el sector residencial urbano - Colombia



Nota. Consumo de energía eléctrica. Tomada de (UPME, 2024)

Además, se examinó el fenómeno conocido como consumo "fantasma" o stand-by. Esto se refiere al consumo de electrodomésticos, que aunque apagados, permanecen en modo de espera y pueden consumir hasta 23W, representando hasta el 10% del consumo energético de un hogar. Para abordar este tema, se estableció el objetivo de reducir el consumo fantasma en un 1% de la demanda de los hogares para resolver este problema.

Por último, se demostró que la medición inteligente o avanzada es un instrumento esencial para aumentar la eficiencia energética doméstica. Según estimaciones, la instalación generalizada de medidores inteligentes permitiría una gestión energética más precisa y eficaz, lo que reduciría el uso de electricidad del 4,7% en 2021.

Figura 2

Medidas de eficiencia energética.

	Item	Medida	% sector	% país
Electricidad	1	Sustitución de equipos de refrigeración doméstica	0,25%	0,04%
	2	Sustitución de bombillas incandescentes y LFC por LED	0,30%	0,05%
	3	Mejoramiento de eficiencia energética en edificaciones (pinturas atérmicas, extractores eólicos y otros medios de acondicionamiento ambiental por medios naturales)	0,47%	0,08%
	4	Sustitución de duchas eléctricas por Sistemas Solares Térmicos, SST	0,02%	0,00%
	5	Implementación de Sistemas Solares Fotovoltaicos, SFV	0,16%	0,03%
	6	Implementación de medidores inteligentes	1,80%	0,29%
	7	Reducción de consumo por <i>Stand by</i>	0,95%	0,15%
	Subtotal		3,95%	0,63%
Leña	8	Implementación de estufas mejoradas de leña y uso de GLP	0,69%	0,11%
	Subtotal		0,69%	0,11%
	Total energía		4,65%	0,74%

Nota. Medidas de eficiencia energética en el sector residencial. Tomada de (UPME, 2024)

Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) 2021-2030

El Plan de Acción Indicativo del Programa para el Uso Racional de la Energía (PAI-PROURE), que establece plazos, responsabilidades y fuentes de financiamiento, orienta las iniciativas del sector público en eficiencia energética en cumplimiento de la Ley 1715 de 2014.

El desarrollo del tercer volumen de PAI-PROURE se desarrolló por fases. La primera fase evaluó los resultados del PAI-PROURE 2017-2022, examinando el avance de las metas y tomando en cuenta nuevas iniciativas basadas en propuestas de incentivos fiscales que había recibido la UPME. La segunda etapa alineada con el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático (PIGCCme) identificó dificultades y sectores adicionales, incluidos objetivos de eficiencia en minería, construcción, producción de hidrocarburos y generación de energía térmica. También se consideraron medidas para el uso de nuevas tecnologías.

Para desarrollar este documento se realizaron tres talleres, que incluyeron la participación de los sectores térmico, de transporte, industrial, residencial y comercial, entre el 23 y el 25 de febrero de 2021. Como complemento a la misma se realizó la encuesta "Eficiencia Energética en Colombia", que recogió los puntos de vista de 65 participantes en una variedad de industrias. El informe también se basa en estudios de la UPME.

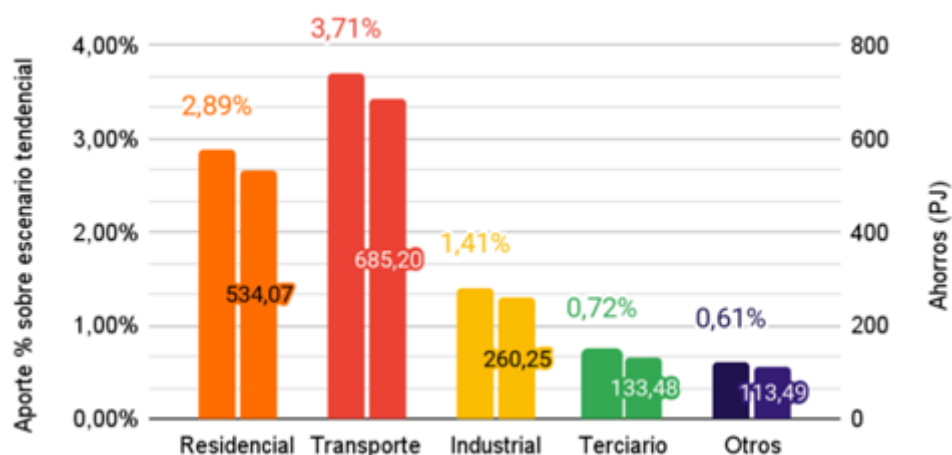
La quinta etapa definió objetivos a largo plazo para la eficiencia energética, así como una visión para 2030. Después de realizar modelos energéticos y priorizarlos, se evaluaron sus efectos sobre la energía y el medio ambiente mediante simulaciones de acciones, análisis de costo-beneficio y requisitos de incentivos fiscales.

Según el ejercicio de simulación, existe un potencial de ahorro de energía de 1.726 PJ entre 2021 y 2030, lo que representa una reducción del 9.34% con respecto al escenario de tendencia. Los siguientes sectores se reparten el ahorro: minería (0,07%), transporte (3,71%),

industrial (1,41%), residencial (2,89%), terciario (0,72%), termoeléctrica (0,17%), producción y transporte de hidrocarburos (0,17%), minería (0,07%) y métodos de construcción sostenible (0,21%). "Otros" es el nombre colectivo de los sectores restantes.

Figura 3

Reducción de consumo energético.



Nota. Reducción de consumo energético sobre escenario tendencial de las medidas analizadas en el PAI-PROURE 2021-2030 por sector. Tomado de (UPME, 2024)

Según El PAI-PROURE 2021-2030 otro indicador resultante de los ejercicios de simulación corresponde a la relación entre el ahorro potencial de energía y las emisiones evitadas en cada sector, que podría reducirse en 87,22 MtonCO₂ en el mismo período, de las cuales 80,37 MtonCO₂ (92%) provendrán de la reducción en los sectores de uso final de energía.

Este indicador muestra que los sectores de transporte, termoeléctrico y producción y transporte de hidrocarburos son los que podrían lograr una mayor mitigación con menores reducciones de consumo energético. Por otro lado, los sectores que dependen en gran medida de la energía eléctrica, como el residencial y el terciario, requerirían un esfuerzo energético mucho mayor para reducir una tonelada de CO₂.

Tabla 2*Potenciales de reducción de energía.*

Sector	Ahorro Potencial PJ	Emisiones Evitadas MTonCO2	Relación PJ/MTonCO2
Residencial	534,07	8,54	62,56
Transporte	685,2	51,18	13,39
Terciario	133,48	6,33	21,09
Industrial	260,25	14,32	18,17
Termoeléctrico	31,13	2,22	14,02
Hidrocarburos	31,73	1,91	16,69
Minería	12,56	0,88	14,27
Edificaciones	38,08	1,75	21,68

Nota. Relación entre los potenciales de reducción de energía y emisiones por sectores. Tomada de (UPME, 2024)

Características, Acciones y Metas de Eficiencia Energética en el Sector Residencial (2021-2030)

Las acciones y metas de eficiencia energética en el sector residencial para el período 2021-2030 se centran en abordar tres áreas principales: la sustitución de equipos de cocción que utilizan leña, la renovación de electrodomésticos, particularmente refrigeradores, y la implementación de herramientas digitales para optimizar el consumo energético. (UPME 2021)

El uso de la leña, aunque presente en solo el 10 % de los hogares, contribuye a la ineficiencia energética por las estufas tradicionales, con una eficiencia muy baja, entre el 3 % y el 4.4 %. Este problema es más pronunciado en las áreas rurales, donde el 92% de los hogares que utilizan leña se encuentran. La propuesta para mejorar esta situación incluye la sustitución de estas estufas por tecnologías más eficientes como la hornilla eléctrica convencional (con una eficiencia del 63%), estufas de GLP (40% de eficiencia) y estufas con biogás (37.2% de eficiencia). Al realizar este cambio, se espera no solo reducir el consumo energético sino también mejorar las condiciones de vida de los usuarios. (UPME, 2017)

Otra área de enfoque es la refrigeración, que representa un importante porcentaje del consumo energético en el hogar. Los refrigeradores actuales tienen un consumo promedio de 71.9 kWh al mes, mientras que los modelos más eficientes consumen alrededor de 33.5 kWh al mes. Según los datos, el 45% de los refrigeradores en los hogares colombianos tienen 5 o más años de uso, lo que indica un gran potencial para la renovación tecnológica. Al reemplazar los refrigeradores antiguos por modelos más eficientes, etiquetados con la categoría A de eficiencia energética, se podrían lograr ahorros significativos de energía en todo el país. (UPME, 2017)

Además de los cambios tecnológicos y de equipos, se busca promover la optimización de la demanda energética a través de herramientas digitales. La implementación de medidores inteligentes es clave en este aspecto, ya que permitirán a los usuarios acceder a información en tiempo real sobre su consumo y los precios de la energía. Esta información facilita una gestión más eficiente y consciente del uso energético, permitiendo tanto al usuario como al sistema eléctrico diseñar respuestas automáticas y óptimas para el consumo, lo que podría llevar a una reducción significativa en el uso de energía.

Las medidas específicas propuestas para lograr estas metas incluyen: la renovación de equipos de uso final, como refrigeradores y estufas eficientes; la adquisición de luminarias LED para mejorar la eficiencia en iluminación; la sustitución de la leña por GLP o energía eléctrica en la cocción de alimentos en áreas rurales; y la promoción del consumo inteligente mediante la instalación de medidores inteligentes.

Tabla 3

Medidas y acciones de eficiencia energética.

Tipo de Medida	Medidas	Acciones
Cambio Tecnológico	1. Renovación de equipos de uso final 2. Adquisición de iluminación eficiente	1.1. Compra de neveras de etiqueta A 1.2. Compra de estufas eficientes 2.1. Luminarias LED

Cambio Combustible	3. Sustitución de combustible	3.1. Sustitución de leña para cocción por GLP o energía eléctrica en el sector rural.
Digitalización	4. Promoción de consumo inteligente	4.1. Instalación de medidores inteligentes

Nota. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector residencial. Tomada de (UPME, 2024)

El impacto esperado de estas acciones es considerable. Las proyecciones indican que se podría lograr una reducción potencial del consumo energético de 534 PJ en el período 2021-2030, lo que representa una disminución del 2.89% en el consumo total del sector residencial frente a un escenario tendencial. Además, la adopción de estas medidas contribuirá a la reducción de emisiones de gases contaminantes, promoviendo un desarrollo más sostenible y un uso más eficiente de los recursos energéticos en el país. (UPME, 2024)

Tabla 4

Resumen de resultados.

MEDIDA	Reducción de demanda (2021-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2021-2030) TonCO2		Aporte global %
				%	
Compra de neveras tipo A	77,81	13,63%	3,357,350	39,33%	26,48%
Mejora de eficiencia en la cocción en ciudades	90,95	17,03%	2,066,444	24,21%	20,62%
Luminarias LED	54,4	10,19%	2,508,444	29,38%	19,78%
Sustitución de leña sector rural por GLP o energía eléctrica	281,8	52,76%	968,160	-11,34%	20,71%
Instalación de medidores inteligentes	34,1	6,39%	1,572,776	18,42%	12,40%
TOTAL	539,06		8,537,070		

Nota. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector residencial. Tomada de (UPME, 2024)

Medidor inteligente

Los medidores inteligentes ayudan a entender e interpretar el uso dado a la energía en los diferentes ámbitos como el hogar o las industrias, estos ofrecen información real y detallada

del consumo de energía permitiendo controlar el uso de esta. A diferencia de los medidores tradicionales los inteligentes logran registrar el consumo de energía en intervalos cortos de tiempo.

Un medidor inteligente o Smart Meter por su nombre en inglés, es un contador electrónico inteligente capaz de registrar el consumo de energía eléctrica en pequeños intervalos de tiempo (comúnmente inferiores a una hora) y comunicar la información procedente de ese registro a la unidad de control. Se trata, por tanto, de un instrumento que cumple la función de un sensor y de un punto de interacción simultáneamente, de un nodo inteligente. (Structuralia, 2024)

Los medidores inteligentes son esenciales para construir una infraestructura de red inteligente: un sistema de red eléctrica modernizado que utiliza tecnología digital para mejorar la confiabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad de la distribución del uso de electricidad. (IBM, 2020)

La implementación de medidores inteligentes en hogares e industrias asegura un sistema energético eficiente y sostenible además de una reducción significativa en los costos generados.

Dispositivo de medición inteligente: Egeo Analyzer

EGEO Analyzer es un dispositivo de medición inteligente diseñado para el análisis de red y energía todo en uno para la eficiencia doméstica, comercial o industrial, este dispositivo es una excelente opción para supervisión, control y disgregación del consumo eléctrico.

EGEO Analyzer ofrece precisión de 0.2S de energía activa y reactiva en inversa y directa de hasta 6 circuitos monofásicos, 3 circuitos bifásicos o 2 circuitos trifásicos, siendo capaz de medir diferentes parámetros como frecuencia, factor de potencia, energía de armónicos, etcétera.

Es una plataforma de desarrollo muy poderosa ya que cuenta con un procesador Full Linux, con conexión WI-FI y Ethernet para enviar datos a través de la red de una forma rápida y segura. También permite hacer desarrollos propios de metrología y/o como concentrador de datos en C++, Python, Node y más. (industria, 2019)

A través del Smart metering ayuda a distribuir de mejor manera el flujo eléctrico en horas pico, mide el robo de energía permitiendo mejor aprovechamiento de la red.

Especificaciones y características

Figura 4

Especificaciones y características.



Nota. Medidor Egeo analyzer. Tomado de (eGeo, 2024)

- Fácil de instalar y configurar
- Monitorea hasta seis circuitos de 120 A clase 0,2 s
- WiFi, Ethernet, MODBUS, tarjeta micro SD y LTE
- Mide armónicos, factor de potencia, potencia y energía activa/reactiva
- Sistema operativo Linux embebido y de código abierto

Monitoreo no intrusivo de cargas (NILM)

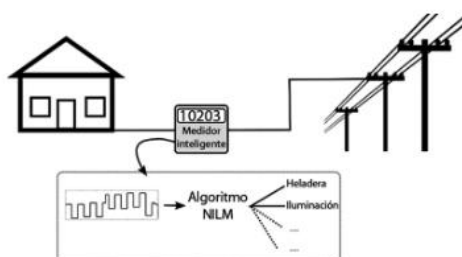
NILM (Non intrusive load monitoring) como sus siglas en inglés lo describen es un monitoreo de cargas no intrusivo que permite hacer seguimiento a la curva de consumo de

energía de cada uno de los dispositivos o electrodomésticos que se encuentran en los hogares o industrias.

NILM se encarga de desagregar el consumo energético de los diferentes dispositivos eléctricos. Las técnicas NILM no invaden la red interna del cliente, sino que operan sobre las mediciones realizadas en un único punto que incluye el consumo de todos los dispositivos a desagregar. Los algoritmos NILM se pueden clasificar, según su capacidad de desagregación y el volumen de datos empleado, de acuerdo a la frecuencia de muestreo. (Donato, Carugati, Funes, & Ureña, 2020)

Figura 5

Diseño



Nota. Tomado de (Donato, Carugati, Funes, & Ureña, 2020)

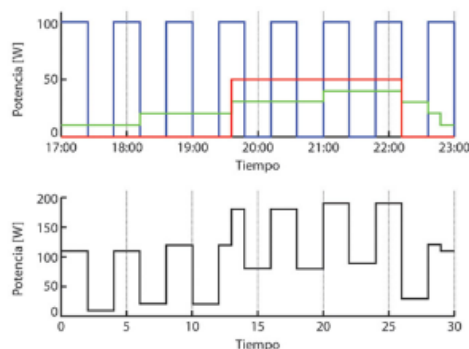
Desagregación energética

La desagregación energética es la capacidad de descomponer o discriminar el consumo total de energía en cada uno de los dispositivos con una única medición de consumo sin necesidad de instalar medidores individuales en cada dispositivo eléctrico.

La desagregación de energía se puede realizar mediante diversos tipos de técnicas con grados de complejidad y eficiencia diferentes, que incluyen desde métodos basados en machine learning hasta aquellos basados en procesamiento de señales

Figura 6

Desagregación.



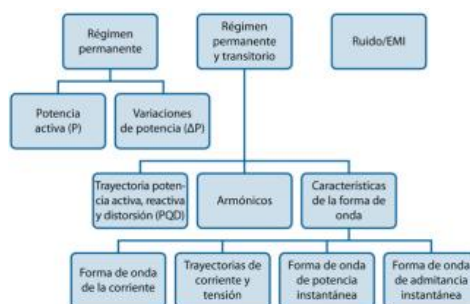
Nota. Tomado de (Donato, Carugati, Funes, & Ureña, 2020)

Tipos de algoritmos

Los algoritmos basados en eventos funcionan a partir de la detección y clasificación de estados transitorios (eventos de encendido y apagado o cambios de estado de los dispositivos), mientras que los algoritmos que no se basan en eventos operan mediante la estimación del estado de un conjunto de artefactos en cada instante a partir de las mediciones anteriores. Otra clasificación, más útil al momento de discriminar la capacidad de desagregación y la necesidad de datos para ello, es la que se basa en la frecuencia de muestreo.

Figura 7

Clasificación básica de algoritmos.



Nota. Tomado de (Donato, Carugati, Funes, & Ureña, 2020)

Análisis de restricciones

El análisis de restricciones de este proyecto aborda aspectos técnicos, normativos, económicos, sociales, ambientales y cartográficos. Desde el punto de vista técnico, la implementación del sistema de monitoreo no intrusivo de cargas eléctricas (NILM) y del dispositivo eGEO Analyzer debe garantizar su compatibilidad con las infraestructuras eléctricas variadas de los hogares en Bogotá. Esto requiere que la tecnología sea flexible y capaz de adaptarse a diferentes configuraciones eléctricas. Además, el proyecto debe cumplir con la Ley 2099 de 2021, que regula la implementación de tecnologías avanzadas de medición energética en Colombia (Republica, 2021), y seguir las resoluciones de la CREG, que fomentan el uso de tecnologías inteligentes en la red eléctrica.

A nivel económico, se debe garantizar que el proyecto sea viable tanto para los usuarios como para las entidades involucradas, optimizando el costo de implementación sin comprometer la calidad del servicio. En el aspecto social, es fundamental que los usuarios adopten esta tecnología y comprendan su valor, lo que puede lograrse mediante campañas educativas sobre el ahorro energético y la reducción de la huella de carbono. En términos ambientales, la implementación de NILM contribuye a las metas de Colombia en su compromiso con las contribuciones determinadas a nivel nacional, las cuales buscan reducir las emisiones de CO₂ en un 51% para el año 2030 (Fedesarrollo, 2021). Finalmente, en el ámbito cartográfico, es necesario identificar las zonas prioritarias para la implementación, considerando las áreas con mayores consumos y posibles limitaciones de infraestructura, lo que permite una planificación más efectiva.

Restricciones técnicas

Las restricciones técnicas en este proyecto se centran en asegurar que el sistema de Monitoreo No Intrusivo de Cargas Eléctricas (NILM) y el dispositivo eGEO Analyzer sean

compatibles con diversos ajustes eléctricos en los hogares de Bogotá. La tecnología debe ser flexible para operar en infraestructuras de energía tanto en sectores residenciales de bajos recursos como en áreas con mayor acceso a tecnología avanzada.

Compatibilidad con la infraestructura eléctrica existente

Los hogares en Bogotá, especialmente en diferentes estratos socioeconómicos, pueden tener infraestructuras eléctricas muy dispares, que van desde sistemas antiguos y menos eficientes hasta instalaciones más modernas. La gran variabilidad en la calidad y configuración de estas instalaciones eléctricas podría impedir la correcta implementación del sistema de monitoreo en algunos hogares, afectando la precisión del monitoreo y su funcionamiento en tiempo real. Si no se logra asegurar la compatibilidad, los costos de adaptación de las infraestructuras o la falta de cobertura en ciertos hogares pueden comprometer el éxito del proyecto.

Limitaciones en la conectividad de red

La funcionalidad del sistema depende de una conexión estable a internet para enviar datos en tiempo real a una plataforma central. En áreas con conectividad limitada o inestable, como algunas zonas rurales o sectores urbanos con deficiencias en infraestructura digital, el sistema puede sufrir interrupciones, afectando la precisión y la eficiencia del monitoreo. Sin una transmisión constante, los datos no se recolectarán o procesarán correctamente.

Energía de respaldo para el sistema

El sistema depende del suministro continuo de electricidad para funcionar. En caso de cortes de energía, tanto el dispositivo NILM como el eGEO Analyzer dejarían de recopilar datos, lo que interrumpiría el monitoreo y generaría brechas en los informes de consumo. Esto puede ser especialmente problemático en áreas donde los cortes de energía son frecuentes o prolongados.

Recolección y procesamiento de datos

La capacidad del sistema para identificar patrones de consumo de cada dispositivo en tiempo real implica procesar grandes volúmenes de datos de manera constante. Esto puede sobrecargar la infraestructura tecnológica, especialmente si los dispositivos electrónicos en los hogares son numerosos o si los algoritmos no son lo suficientemente eficientes para procesar los datos de forma rápida y precisa. Además, en áreas con conexiones a Internet deficientes, los datos podrían perderse o no transmitirse de manera eficiente, comprometiendo la calidad del monitoreo.

Limitaciones en la capacidad de almacenamiento de datos

A medida que el sistema recolecta datos de consumo en tiempo real de todos los dispositivos eléctricos de un hogar, la cantidad de información generada aumenta exponencialmente. La capacidad de almacenamiento del sistema podría verse superada, afectando la capacidad de procesar los datos en tiempo real o de generar informes históricos detallados. Si no se gestiona adecuadamente, la limitación de almacenamiento puede llevar a la pérdida de datos o a problemas de rendimiento del sistema.

Restricciones Normativas

Las restricciones normativas de este proyecto están diseñadas para garantizar que cumplan con las leyes y regulaciones colombianas en el ámbito energético, ambiental y de seguridad. Estos incluyen el cumplimiento de la Ley 2099 de 2021, que promueve la transición energética y otorga beneficios fiscales a proyectos de eficiencia energética. También debe ajustarse a las normativas de la comisión de regulación de energía y gas (CREG), que regulan la implementación de tecnologías de medición como el sistema NILM.

Además, el proyecto debe garantizar la interoperabilidad con diferentes infraestructuras eléctricas y cumplir con estándares como la IEC-61000, que regula la compatibilidad

electromagnética. La protección de los datos recopilados también es crucial, siguiendo las normativas de seguridad de la información para evitar accesos no autorizados. Finalmente, el sistema debe contribuir a las metas ambientales de Colombia, como la reducción de emisiones bajo los compromisos de contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), y cumplir con los reglamentos técnicos de seguridad eléctrica (RETIE) para garantizar su seguridad y funcionamiento adecuado.

Ley 2099 de 2021

Debemos asegurarnos de que el proyecto se alinee con la Ley 2099 de 2021, que promueve la transición energética en Colombia. Esta ley no solo impulsa el uso de tecnologías como el NILM y el eGEO Analyzer, sino que también ofrece beneficios fiscales y financieros. Para aprovecharlos, necesitamos demostrar cómo el proyecto contribuye al ahorro energético y a la reducción de emisiones de CO₂. Esto me permitirá acceder a incentivos como la deducción del 50% en impuestos y la exclusión del IVA en la compra de equipos relacionados. (uexternado, 2023)

Regulación de la CREG

El sistema de monitoreo debe cumplir con las normativas de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Esto garantiza que la tecnología que utiliza, como el dispositivo eGEO, esté homologada y cumpla con los requisitos de exactitud y confiabilidad en la medición de consumo energético. Cumplir con estas normativas nos permitirá integrar el sistema en la red eléctrica nacional, asegurando su eficacia y escalabilidad.

Normas de Interoperabilidad

Las normas de interoperabilidad garantizan que los sistemas eléctricos y los dispositivos inteligentes sean compatibles entre sí, incluso cuando se implementan en infraestructuras eléctricas diversas. En este sentido, el sistema de monitoreo debe ser capaz de integrarse con

otros sistemas eléctricos y funcionar sin problemas, independientemente del tipo de red eléctrica. Esto incluye cumplir con estándares internacionales como el IEC-61000, que regula la compatibilidad electromagnética. (ELSPEC, 2024)

Protección de la Información

Aunque no trataremos directamente datos personales, los datos energéticos recopilados por el sistema de monitoreo reflejan patrones de consumo que pueden considerarse sensibles. En este caso, es importante garantizar la seguridad de los datos transmitidos y almacenados por el sistema, aplicando medidas de ciberseguridad y asegurando que la información recolectada no sea utilizada de manera inapropiada o expuesta a riesgos de acceso no autorizado. A nivel regulatorio, debe seguirse la Ley 1581 de 2012 que regula el tratamiento de información personal en Colombia.

Normas Sobre Equipos Electrónicos

El sistema de monitoreo debe cumplir con los reglamentos técnicos y de seguridad eléctrica, como el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas). Esto incluye normas sobre la seguridad de los dispositivos electrónicos, su resistencia a fluctuaciones eléctricas y la protección contra sobrecargas. El cumplimiento de estas normativas garantiza que los equipos puedan operar de manera segura y eficiente en las redes eléctricas domésticas.

Restricciones Económicas

Las restricciones económicas del proyecto se centran en los costos asociados a la implementación inicial, el mantenimiento y actualización de los dispositivos y software, así como los gastos relacionados con la capacitación y soporte técnico para los usuarios. Además, es clave obtener financiamiento para reducir estos costos, aprovechando incentivos fiscales como los ofrecidos por la Ley 2099 de 2021, que promueve proyectos de eficiencia energética.

La viabilidad económica a largo plazo también depende de que los usuarios perciban ahorros significativos en su consumo de energía, lo cual puede motivar la adopción del sistema.

Costo Inicial de Implementación

La implementación del sistema de monitoreo puede requerir una inversión inicial considerable para adquirir los dispositivos, instalarlos y configurar las plataformas de monitoreo. Además, el costo podría variar dependiendo del número de hogares a los que se planea llegar y las adaptaciones necesarias para que el sistema funcione en diversas infraestructuras eléctricas.

Costo de Mantenimiento y Actualización

El sistema requiere mantenimiento periódico, tanto en el hardware (eGEO Analyzer) como en el software que analiza los datos de consumo energético. Además, para garantizar que el sistema siga siendo eficiente y seguro, será necesario actualizar el software periódicamente y, eventualmente, reemplazar componentes del hardware conforme avance la tecnología.

Costos de Capacitación y Soporte Técnico

Para asegurar que los usuarios adopten correctamente el sistema, será necesario proporcionar capacitación y soporte técnico. Esto implica costos adicionales relacionados con el desarrollo de manuales, materiales de capacitación y la contratación de personal técnico que pueda brindar asistencia a los usuarios.

Acceso a Financiamiento y Subsidios

Uno de los principales beneficios del proyecto es el ahorro económico que proporcionará a los usuarios a largo plazo, al reducir su consumo energético. Sin embargo, es posible que algunos usuarios no perciban este ahorro de manera inmediata, lo que puede generar desinterés en la adopción del sistema.

Restricciones Sociales

Las restricciones sociales del proyecto se centran en la aceptación y adopción del sistema por parte de los usuarios, quienes podrían mostrar resistencia si no perciben un beneficio económico inmediato o encuentran la tecnología complicada. Además, el nivel de educación sobre eficiencia energética varía, lo que puede limitar la comprensión del impacto positivo del sistema en sus facturas y el medio ambiente. Los estratos socioeconómicos bajos podrían enfrentar barreras económicas que dificultan su acceso a la tecnología, mientras que la percepción desigual de los beneficios entre diferentes estratos también puede afectar la motivación para adoptar el sistema. Asimismo, los hábitos culturales y la resistencia al cambio pueden influir negativamente en el uso del sistema, limitando su capacidad para generar ahorro energético.

Aceptación y Adopción por parte de los usuarios

Uno de los mayores desafíos sociales es lograr que los usuarios adopten y utilicen correctamente el sistema de monitoreo. En muchos casos, las personas pueden resistirse a cambiar sus hábitos de consumo energético, especialmente si la tecnología es nueva o requiere un proceso de aprendizaje. Los usuarios podrían no estar familiarizados con el monitoreo energético o no percibir un beneficio inmediato, lo que puede generar una baja tasa de adopción del sistema.

Nivel de educación y sensibilización energética

La educación y sensibilización sobre la importancia de la eficiencia energética varía entre diferentes grupos socioeconómicos. Algunos usuarios podrían no estar conscientes de los efectos del consumo energético en sus facturas y en el medio ambiente. Este desconocimiento puede hacer que subestimen la importancia de adoptar sistemas que les ayuden a reducir su huella de carbono y mejorar su ahorro económico.

Barreras socioeconómicas para la adopción

Los beneficios de la optimización energética podrían percibirse de manera desigual entre los diferentes estratos. Los hogares de estratos más altos, que ya poseen electrodomésticos más eficientes, podrían ver menos ahorros relativos que aquellos con electrodomésticos antiguos y menos eficientes. Esta diferencia en la percepción puede influir en la motivación para adoptar el sistema.

Cultura y hábitos de consumo

Los hábitos culturales también pueden influir en la aceptación del sistema. En algunas comunidades, los hábitos de consumo de energía están profundamente arraigados, y los usuarios pueden ser reacios a cambiar su comportamiento o sus rutinas, incluso si existe la posibilidad de ahorrar energía y reducir costos.

Restricciones Ambientales

Las restricciones ambientales de este proyecto incluyen varios desafíos que pueden influir en su impacto sostenible. En primer lugar, es esencial asegurar que el proyecto contribuya significativamente a la reducción de la huella de carbono, aunque esto dependerá del nivel de optimización del consumo energético en los hogares. Además, el proyecto debe gestionar adecuadamente los residuos electrónicos generados por los dispositivos, ya que su ciclo de vida puede contribuir a la contaminación si no se manejan correctamente.

El consumo energético del propio sistema también es una preocupación, ya que podría reducir los ahorros netos de energía si no se optimiza. Finalmente, la sostenibilidad en la fabricación de dispositivos y su participación en la economía circular, incluyendo el reciclaje de materiales y la reutilización de componentes, es clave para evitar que el proyecto contribuya a un ciclo de consumo insostenible.

Reducción de la huella de carbono

El principal objetivo del proyecto es reducir el consumo de energía en los hogares y, por lo tanto, disminuir la huella de carbono. Sin embargo, existe una restricción ambiental importante relacionada con la capacidad real del sistema para lograr una reducción significativa en las emisiones de CO₂. Los hogares que ya utilizan energía de manera eficiente pueden ver una reducción mínima, lo que limita el impacto general del proyecto.

Gestión de residuos electrónicos

La instalación de dispositivos como el eGEO Analyzer generará una mayor cantidad de residuos electrónicos a largo plazo. Esto incluye los componentes de hardware que, al final de su ciclo de vida, deberán ser desechados o reemplazados. La correcta gestión de estos residuos será crucial para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

Consumo energético del sistema

Aunque el objetivo del proyecto es reducir el consumo energético en los hogares, los propios dispositivos como el eGEO Analyzer también consumen energía para operar. Si el sistema no está diseñado para ser altamente eficiente, podría generar un consumo adicional significativo que afecte su impacto neto en la sostenibilidad.

Sostenibilidad en la fabricación de dispositivos

Los dispositivos como el eGEO Analyzer deben ser fabricados de manera sostenible, utilizando materiales que no contribuyan a la contaminación a la extracción intensiva de recursos. Si los materiales o procesos de fabricación de estos dispositivos no cumplen con los estándares de producción limpia, el proyecto podría tener un impacto ambiental negativo a pesar de su objetivo de sostenibilidad.

Participación en la economía circular

La economía circular promueve el reciclaje y la reutilización de materiales para reducir el impacto ambiental. En este proyecto, la participación en prácticas de economía circular para gestionar adecuadamente los dispositivos después de su vida útil, y para promover la reutilización de piezas, será crucial para garantizar que no se generen residuos adicionales.

Restricciones Cartográficas

Las restricciones cartográficas del proyecto se centran en la distribución geográfica y la variabilidad de la infraestructura eléctrica en diferentes zonas. En áreas rurales o con infraestructuras menos desarrolladas, puede haber dificultades para instalar el sistema de monitoreo debido a las limitaciones de la red eléctrica y la conectividad a datos.

Además, la densidad poblacional influye, ya que en zonas con baja densidad los costos de instalación pueden ser más altos en comparación con los ahorros energéticos generados. También es clave priorizar las áreas de alto consumo energético o con una mayor dependencia de fuentes no renovables para maximizar el impacto ambiental del proyecto. La identificación y análisis de estas zonas permite una implementación más eficiente y efectiva del sistema.

Distribución geográfica de los hogares

La ubicación geográfica de los hogares donde se implementará el sistema de monitoreo puede afectar la viabilidad del proyecto. Las zonas rurales o áreas menos urbanizadas podrían tener infraestructuras eléctricas más antiguas o menos desarrolladas, lo que dificultaría la instalación del dispositivo eGEO Analyzer. Además, los hogares dispersos en áreas rurales pueden aumentar los costos de instalación y mantenimiento debido a la distancia entre ellos.

Conectividad y acceso a redes de datos

En zonas rurales o remotas, la conectividad a redes de datos como internet es limitada o inestable. Dado que el sistema de monitoreo depende de la transmisión en tiempo real de los

datos de consumo energético, la falta de acceso a una red confiable de datos puede comprometer su funcionalidad.

Zonas de alto consumo energético

El proyecto puede priorizar ciertas zonas de la ciudad de Bogotá donde el consumo energético es más elevado, como áreas industriales o comerciales. Identificar estas zonas a través de estudios cartográficos permitiría implementar el sistema de monitoreo en las áreas que más lo necesiten, maximizando el impacto del proyecto.

Análisis de densidad poblacional

La densidad poblacional es un factor clave en la planificación del proyecto. Las áreas con mayor densidad poblacional suelen tener un consumo energético más elevado y concentrado, lo que facilita la implementación del sistema en términos de impacto y viabilidad técnica. En contraste, en áreas menos pobladas, el sistema podría tener un menor impacto relativo y ser más costoso de implementar.

Acceso a fuentes de energía no renovables

En algunas regiones, el suministro de energía proviene predominantemente de fuentes no renovables, lo que agrava el impacto ambiental del consumo energético. Estas áreas serán una prioridad para la implementación del sistema de monitoreo, ya que podrían beneficiarse más al reducir la demanda de energía de fuentes contaminantes.

Metodología para la selección y desarrollo de la solución

En un contexto global donde la sostenibilidad y la eficiencia energética se han convertido en prioridades, la necesidad de adoptar prácticas que promuevan el uso responsable de la energía es cada vez más urgente. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), el incremento en la eficiencia energética podría reducir las emisiones de CO₂ y el consumo energético en el sector residencial, contribuyendo significativamente a los objetivos de sostenibilidad y lucha contra el cambio climático (IEA, 2020). En esta misma línea, la Comisión Europea enfatiza la importancia de utilizar tecnologías avanzadas para optimizar el consumo de energía y apoyar la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles y eficientes (Union, 2020). Por lo tanto, las soluciones para el monitoreo del consumo eléctrico, especialmente aquellas que utilizan el Monitoreo No Intrusivo de Cargas (NILM) o los métodos manuales, son herramientas clave para lograr estos objetivos.

Este proyecto evalúa dos alternativas para la identificación de cargas eléctricas en una red doméstica: el uso de tecnologías avanzadas como el NILM y un enfoque de seguimiento manual. Ambas soluciones buscan optimizar el consumo energético, pero abordan de manera diferente las restricciones sociales, económicas y técnicas que limitan su implementación. Además, la participación del usuario es fundamental para que cualquier método de monitoreo sea efectivo, ya que el conocimiento y la comprensión del consumo energético juegan un papel importante en la toma de decisiones informadas y en el desarrollo de hábitos sostenibles.

Solución 1: NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas)

Integrar un sistema avanzado de NILM en el dispositivo eGEO, permitiendo desagregación de consumo energético por electrodoméstico en tiempo real utilizando algoritmos sofisticados.

Características:

1. Algoritmos Avanzados de Desagregación: Utiliza técnicas como Machine Learning para aprender patrones de consumo y clasificar electrodomésticos con alta precisión.

2. Análisis en Tiempo Real: Proporciona datos en tiempo real sobre el consumo de energía, permitiendo a los usuarios identificar el uso de energía en el momento.

3. Visualización Interactiva: Interfaz gráfica que muestra el consumo energético por electrodoméstico de manera intuitiva, facilitando el entendimiento.

4. Informes Semanales Detallados: Genera informes semanales que desglosan el uso energético y ofrecen sugerencias sobre cómo mejorar la eficiencia.

Beneficios:

- Optimización de Costos, ayudando a los usuarios a reducir costos mediante recomendaciones personalizadas basadas en el análisis detallado.
- Uso Eficiente de Energía, aumentando la conciencia sobre el uso de energía y fomenta hábitos de consumo responsables.

Solución 2: Método Manual de Seguimiento

Desarrollar un enfoque manual para el monitoreo y la optimización del consumo energético que utilice registros manuales de consumo para identificar patrones.

Características:

1. Registro Manual del Consumo, los usuarios anotarán el consumo de energía de sus electrodomésticos utilizando el medidor de energía eGEO.

2. Los datos recopilados se ingresarán en hojas de cálculo para calcular el consumo mensual y anual de cada electrodoméstico.

3. Utilizando los resultados del análisis, se elaborarán recomendaciones personalizadas para mejorar la eficiencia energética.

4. Realizar encuestas periódicas para obtener información adicional sobre los hábitos de uso de los electrodomésticos.

Beneficios:

- Bajo costo de implementación ya que no requiere tecnología avanzada ni costos asociados con algoritmos complejos.
- Fomenta la participación involucrando a los usuarios en el proceso, lo que puede aumentar la conciencia sobre el uso de energía.

Metodología de Selección

La metodología de selección se centrará en evaluar cómo las dos alternativas propuestas se ajustan a las restricciones planteadas. Para lograrlo, se seguirá un proceso estructurado que incluye los siguientes pasos:

1. Se definirán los requerimientos clave que ambas soluciones deben cumplir para garantizar su efectividad y viabilidad.

2. Cada solución será evaluada en función de su capacidad para cumplir con los requerimientos establecidos, analizando sus características y beneficios.

3. Cada característica de las soluciones se puntuará en una escala del 1 al 10, donde:

- 1 representa el puntaje más bajo (mínima adecuación)
- 10 representa el puntaje más alto (máxima adecuación).

Tabla 5*Tabla de soluciones*

Requerimiento	Solución 1	Justificación	Solución 2	Justificación
Eficiencia Energética	10	Proporciona análisis en tiempo real y recomendaciones personalizadas para optimizar el consumo.	5	Depende del esfuerzo del usuario para registrar el consumo.
Facilidad de Uso	9	Requiere poca intervención del usuario una vez instalado.	4	Requiere disciplina y dedicación constante para registrar datos.
Costo de Implementación	7	Puede tener un costo inicial mayor, pero ahorros a largo plazo en la factura energética.	9	No requiere inversión tecnológica, pero puede resultar en costos adicionales a largo plazo.
Precisión de Datos	10	Alta precisión en la identificación de cargas específicas.	6	Sujeto a errores humanos en el registro.
Conciencia Social	10	Fomenta el conocimiento y la comprensión del consumo energético.	10	El acto de registrar el consumo de energía de manera manual fomenta una mayor participación y reflexión por parte del usuario.
Impacto Económico	8	Ahorros a largo plazo en facturas energéticas y mayor control del consumo.	6	Ahorro limitado y dependiente de la autogestión del usuario.
Soporte Técnico	9	Requiere soporte mínimo una vez implementado.	4	Soporte necesario para aclarar dudas sobre el método manual.
Sostenibilidad	10	Promueve el ahorro energético y la reducción de huella de carbono.	5	Impacto limitado en la sostenibilidad si no se utiliza correctamente.
Puntuación Total	73	Refleja la capacidad de la solución para cumplir con los requerimientos técnicos, sociales y económicos de manera efectiva.	49	Refleja las limitaciones de un enfoque manual en un entorno que requiere una alta precisión y eficiencia para ser viable.

Nota: Elaboración propia

Selección de la solución

Una vez evaluadas las dos alternativas propuestas se evidencia que la solución 1 NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas) logra la máxima puntuación adecuación, esta alternativa garantiza efectividad, viabilidad y cumple con los requerimientos establecidos.

El uso de NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas) tiene muchas más ventajas con respecto a la metodología manual ya que logra mayor precisión de la información, no requiere ningún tipo de esfuerzo por parte del usuario, la información consultada siempre será brindada en tiempo real y las sugerencias serán inmediatas, mayor nivel de precisión de la información para una mejor optimización, a pesar de existir una inversión inicial el ahorro de dinero con respecto a la disminución del consumo energético será notorio, brinda identificación automática de los picos inesperados de consumo, por tanto NILM (Monitoreo No Intrusivo de Cargas) es más eficiente, preciso y menos probable a la generación de errores que un monitoreo manual que depende netamente de la observación y registro del usuario que será a una menor escala.

La intención principal es que los hogares Bogotanos tengan conocimiento de la importancia de la reducción del consumo energético y la manera rentable y eficiente en la que pueden gestionar el uso de la energía, a su vez contribuir con la disminución del cambio climático, promoviendo así el consumo consciente y responsable.

Esta solución tiene un enfoque práctico y progresivo para la instalación y configuración, la puesta debe ser como se relaciona a continuación:

Instalación del dispositivo eGEO

Identificar el tablero de distribución eléctrico principal del hogar para realizar la respectiva instalación de este para lograr que los sensores capturen y analicen el consumo de energía de los diferentes dispositivos eléctricos que van a ser monitoreados.

Configuración del dispositivo eGEO

El dispositivo se conecta automáticamente a una red Wi-Fi o inalámbrica que permite transmitir los datos de consumo para ser controlados y monitoreados en tiempo real desde un dispositivo móvil.

Recopilación, monitoreo y análisis de datos

Los datos recopilados serán mostrados mediante una interfaz que permita identificar los picos de consumo generados por los dispositivos eléctricos, emitiendo alertas y sugerencias para lograr optimizar el consumo de energía.

Ajustes para la optimización del consumo de energía

Mediante los datos proporcionados, las alertas emitidas y las sugerencias proporcionadas podrán tomar decisiones para mejorar la eficiencia energética del hogar ajustando los tiempos de uso de algunos dispositivos o realizando cambio de estos para disminuir y hacer uso de la energía de manera responsable y consciente.

Es de suma importancia entender sobre el uso racional, responsable y eficiente de energía para lograr disminuir el consumo de energía fósil que es la causante de las grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero para así disminuir el impacto climático y la huella de carbono.

Análisis de Costos

A continuación, se presenta un análisis detallado de los costos estimados para la implementación del proyecto, con cifras aproximadas basadas en información actual y adaptada al contexto de Bogotá. Estas estimaciones consideran cada aspecto relevante, desde la adquisición y configuración de dispositivos, hasta los costos de software, mantenimiento, operación y campañas de educación y sensibilización para los usuarios. El propósito de este desarrollo es proporcionar una visión integral de los recursos financieros necesarios, permitiendo una planificación efectiva y la identificación de oportunidades de optimización.

Inversión Total para Poner en Marcha el Proyecto

Tabla 6

Inversión Total Del Proyecto

Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Total
Costos Iniciales			
Dispositivo eGEO Analyzer	1	\$2,000,000	\$2,000,000
Router Wi-Fi	1	\$ 200,000	\$ 200,000
Computador Técnico	1	\$3,000,000	\$3,000,000
Subtotal Inicial			\$5,200,000
Costos Operativos Anuales			
Mantenimiento del Dispositivo	2 ciclos	\$ 100,000	\$ 200,000
Promoción y Campañas	1 campaña	\$ 600,000	\$ 600,000
Licencia del Software	1 licencia	\$5,000,000	\$5,000,000
Mano de Obra Técnica	1 técnico	\$1,500,000	\$18,000,000
Subtotal Operativo			\$8,300,000
Total Inversión			\$29,000,000

Nota: Elaboración propia.

La inversión inicial necesaria para adquirir e instalar el sistema, sumada a los costos operativos correspondientes al primer año, alcanza un total de \$29,000,000, cubriendo todos los elementos esenciales para la implementación y funcionamiento eficiente del proyecto.

Adquisición de Dispositivos NILM y eGEO Analyzer

Dispositivo eGEO Analyzer:

- Costo: \$ 2,000,000

Justificación: Este es el elemento central del sistema, imprescindible para la operación.

No se puede reducir ni ajustar porque corresponde al costo de adquisición del dispositivo.

Mantenimiento:

- Costo: Excluido del precio inicial.

Justificación: El mantenimiento no se incluye en el precio de venta porque se considera responsabilidad del comprador después del primer año. Esto permite reducir el costo total inicial.

Promoción y Campañas:

- Costo asignado por unidad: \$300,000

Justificación: Este costo incluye la creación y distribución de materiales de promoción (folletos, videos, y guías). Se amortiza entre varias unidades para disminuir el impacto en el precio final.

Licencia de Software:

- Costo: \$1,500,000

Justificación: Se incluye una licencia básica por un año, que permite el monitoreo del consumo energético y acceso a datos en tiempo real. Es una versión reducida del costo anual completo de \$5,000,000 para hacerlo más accesible.

Router Wi-Fi:

- Costo: \$200,000

Justificación: Es necesario para hogares que no tienen un router compatible. Se incluye como parte del paquete inicial.

Mano de Obra:

- Costo: \$500,000

Justificación: Corresponde a una proporción de los costos de instalación y soporte técnico en el primer año. El monto es reducido porque se estima que el tiempo requerido es limitado.

Computador Técnico:

- Costo asignado por unidad: \$300,000

Justificación: Se amortiza el costo del computador entre 10 dispositivos, distribuyendo la carga financiera.

Tabla 7*Costo de Venta de Dispositivo*

Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Total
Costos Incluidos			
Dispositivo eGEO Analyzer	1	\$2,000,000	\$2,000,000
Mantenimiento	Excluido	-	\$ 0
Promoción y Campañas	Proporcional	\$ 300,000	\$ 300,000
Licencia del Software	1 licencia	\$1,500,000	\$1,500,000
Router Wi-Fi	1	\$ 200,000	\$ 200,000
Mano de Obra Técnica	Proporcional	\$ 500,000	\$ 500,000
Computador Técnico	Proporcional	\$ 300,000	\$ 300,000
Subtotal de Costos			\$4,800,000
Margen de Beneficio	4%		\$ 192,000
Costo Total de Venta			\$4,992,000

Nota: Elaboración propia

- Costo por unidad: \$ 2.000.000

Alquiler de Dispositivos eGEO Analyzer

Dispositivo eGEO Analyzer

- Costo amortizado: \$2,000,000 dividido en 5 años.
- Costo anual amortizado: \$400,000

Mantenimiento

- Costo anual: \$200,000.

Justificación: Este costo se mantiene porque el alquiler incluye soporte técnico y mantenimiento regular del dispositivo.

Promoción y Campañas

- Costo asignado por unidad: \$300,000

Justificación: Proporcional al número de dispositivos alquilados.

Licencia de Software

- Costo ajustado: \$1,500,000

Justificación: Se incluye una licencia básica para el usuario que abarca funcionalidades clave.

Router Wi-Fi

- Costo amortizado: \$200,000 dividido en 5 años.
- Costo anual amortizado: \$40,000

Mano de Obra:

- Costo anual: \$500,000

Justificación: Incluye instalación inicial y soporte técnico.

Computador Técnico

- Costo amortizado: \$3,000,000 dividido en 5 años.
- Costo anual amortizado: \$60,000

Tabla 8

Costo de Alquiler de Dispositivo

Concepto	Cantidad	Costo Unitario	Costo Anual	Costo Mensual
Costos Incluidos				
Dispositivo eGEO Analyzer	1	\$2,000,000	\$ 400,00	\$ 33,33
Mantenimiento del Dispositivo	2 ciclos	\$ 100,000	\$ 200,000	\$ 16,667
Promoción y Campañas	Proporcional	\$ 300,000	\$ 300,000	\$ 25,000
Licencia del Software	1 licencia	\$1,500,000	\$1,500,000	\$ 125,000
Router Wi-Fi	1	\$ 200,000	\$ 40,000	\$ 3,333
Mano de Obra Técnica	Proporcional	\$ 500,000	\$ 500,000	\$ 41,667
Computador Técnico	Proporcional	\$ 300,000	\$ 60,000	\$ 5,000
Costo Total de Alquiler			\$3,000,000	\$ 250,000

Nota: Elaboración propia.

La implementación del modelo de alquiler mensual a \$250,000 requiere una inversión anual ajustada que incluye todos los costos esenciales de adquisición, mantenimiento, licencias y operación. Este monto asegura la viabilidad del sistema, proporcionando un servicio eficiente y sostenible sin necesidad de subvenciones, cumpliendo con los requisitos económicos del proyecto.

Plan de implementación

El plan de implementación de este proyecto se desarrollará en cuatro fases clave. Primero, se realizará una fase de planificación y preparación, donde se adquirirán los dispositivos y equipos, se capacitará al personal técnico y se configurará la plataforma de monitoreo. Luego, en la fase de instalación y configuración, se instalarán y probarán los dispositivos y el eGEO Analyzer en 5 hogares piloto para validar su funcionalidad. La tercera fase, de operación y monitoreo continuo, permitirá recopilar datos de consumo energético y proporcionar soporte técnico y recomendaciones a los hogares. Finalmente, en la fase de evaluación y expansión, se analizarán los resultados del piloto, se harán ajustes en el sistema según la retroalimentación y se planificará la expansión a más hogares en función de los resultados obtenidos. Este enfoque gradual asegura una implementación efectiva y ajustada a las necesidades del proyecto y sus usuarios.

Fase 1: Planificación y preparación

Adquisición de Dispositivos y Equipos de Conectividad

- Compra de 1 dispositivos eGEO Analyzer, y de 1 routers Wi-Fi para hogares sin acceso estable a conectividad.
- Gestión de proveedores y negociación de precios y plazos de entrega para reducir los costos de adquisición.

Contratación de Personal Técnico

- Selección y contratación de 1 técnico especializado en instalación de sistemas eléctricos y conectividad, con experiencia en soporte técnico.
- Definición de roles específicos para el equipo técnico, incluyendo instalación, mantenimiento y soporte en sitio para usuarios.

Desarrollo y Personalización de la Plataforma de Monitoreo

- Configuración y personalización de la plataforma de software para realizar el monitoreo de consumo energético.
- Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs) en la plataforma, como consumo por electrodoméstico, alertas en tiempo real, y generación de informes para los usuarios.

Desarrollo de Material Educativo y de Sensibilización

- Creación de guías de uso, folletos y videos breves para capacitar a los usuarios en el sistema.
- Preparación de material educativo para explicar cómo optimizar el consumo energético en sus hogares.

El tiempo estimado para la ejecución de esta fase es de 1 a 2 meses de trabajo.

Fase 2: Instalación y Configuración

Capacitación Especializada para el Personal Técnico

- Entrenamiento intensivo del equipo técnico en la instalación del eGEO Analyzer, configuración de routers Wi-Fi, y solución de problemas básicos en sitio.
- Capacitación en el uso y operación de la plataforma de monitoreo, incluyendo el proceso incorporación de nuevos usuarios y registro de datos.

Instalación de Dispositivos en los Hogares Piloto

- Instalación de los dispositivos NILM y routers en 1 hogar previamente seleccionados para el piloto.
- Configuración de cada dispositivo para asegurar su conexión con la plataforma de monitoreo central y probar su capacidad de detección y análisis.

Prueba y Verificación del Sistema

- Pruebas iniciales de funcionalidad y precisión de cada dispositivo instalado, verificando que recojan y transmitan los datos de consumo en tiempo real.
- Corrección de errores o problemas técnicos en la instalación, asegurando la operatividad del sistema antes del inicio de la fase operativa.

Primer Informe de Configuración y Estado del Sistema

- Redacción de un informe de estado inicial que documente la instalación, configuración y cualquier ajuste hecho en cada hogar, como base para la fase de operación continúa.

El tiempo estimado para la ejecución de esta fase es de 2 a 3 meses de trabajo.

Fase 3: Operación y Monitoreo

Monitoreo en Tiempo Real y Recolección de Datos

- Recolección de datos de consumo energético de cada hogar para generar patrones de consumo específicos por dispositivo.
- Implementación de alertas en tiempo real para notificar a los usuarios de picos de consumo o irregularidades.

Mantenimiento Periódico y Soporte Técnico

- Realización de mantenimientos semestrales de los dispositivos, comprobando su correcto funcionamiento y reemplazando cualquier componente defectuoso.
- Establecimiento de un canal de soporte técnico para los usuarios, disponible a través de una línea telefónica o WhatsApp.

Educación Continua y Envío de Informes a Usuarios

- Envío de reportes trimestrales a los usuarios con datos específicos de consumo, tendencias y recomendaciones de optimización.

- Ejecución de campañas de educación periódicas, utilizando los datos de consumo recolectados para sensibilizar a los usuarios sobre prácticas de ahorro energético.

Evaluación Interna del Desempeño

- Análisis de la eficiencia del sistema en cuanto a precisión de datos y respuesta de los usuarios, identificando áreas de mejora para la optimización continua.

El tiempo estimado para la ejecución de esta fase es de 6 a 12 meses de trabajo.

Fase 4: Evaluación y Expansión

Evaluación del Impacto y Logro de Objetivos

- Revisión exhaustiva de los datos recolectados durante el primer año, evaluando el impacto del proyecto en la reducción del consumo energético y la huella de carbono.
- Comparación de los datos de consumos previos y posteriores a la implementación para verificar la efectividad del sistema.

Retroalimentación de Usuarios y Ajustes de Mejora Continua

- Encuestas y entrevistas con los usuarios para obtener retroalimentación sobre el sistema, incluyendo facilidad de uso y efectividad de las recomendaciones.
- Ajustes en el software o hardware según las observaciones de los usuarios y el análisis técnico.

Preparación para la Expansión del Proyecto

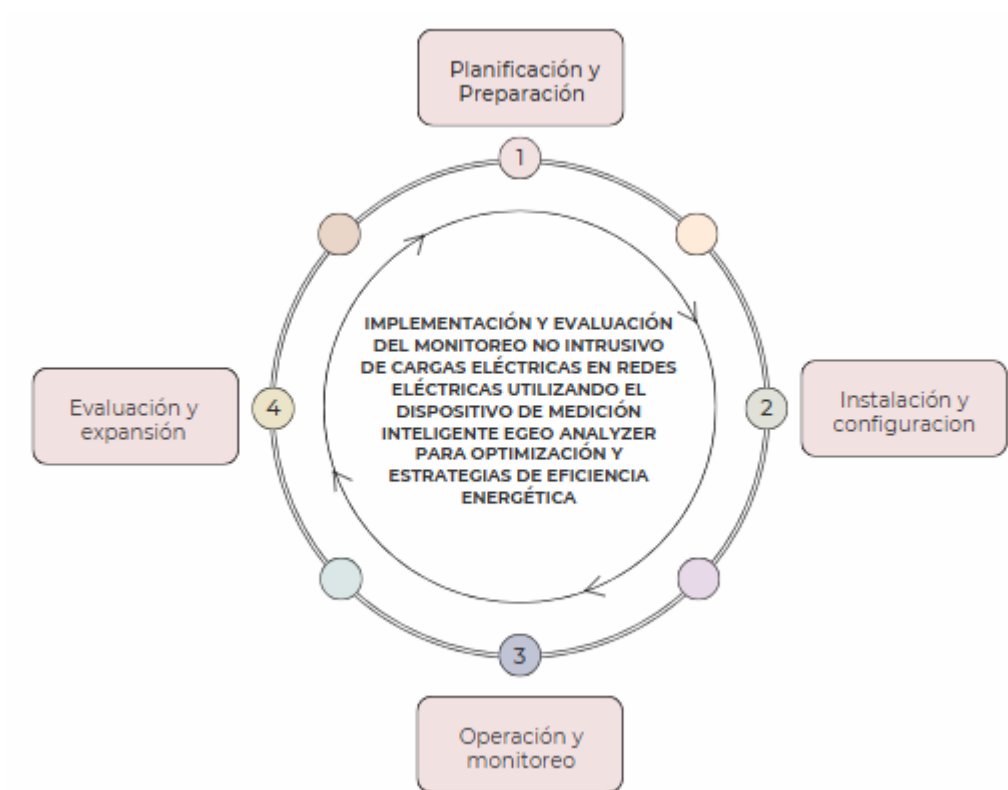
- Proyección de una expansión a nuevos hogares, planificando la adquisición adicional de dispositivos y el presupuesto necesario para una cobertura ampliada.
- Revisión y mejora del plan de instalación y soporte basado en las experiencias obtenidas del piloto inicial.

Informe Final y Presentación de Resultados:

- Preparación de un informe final con los resultados del proyecto piloto, incluyendo estadísticas de consumo, reducción de la huella de carbono y lecciones aprendidas.
- Presentación de resultados a las partes interesadas y planeación de próximas fases de crecimiento, buscando alianzas o apoyo adicional en caso de expansión futura.

Figura 8

Plan de implementación.



Nota: Elaboración propia

Análisis de resultados

Resultados obtenidos

En el hogar seleccionado, el dispositivo NILM (eGEO Analyzer) fue instalado en el tablero eléctrico principal, y se configuró para recolectar datos de consumo energético durante un periodo de 30 días.

Figura 9

Medidor eGeo

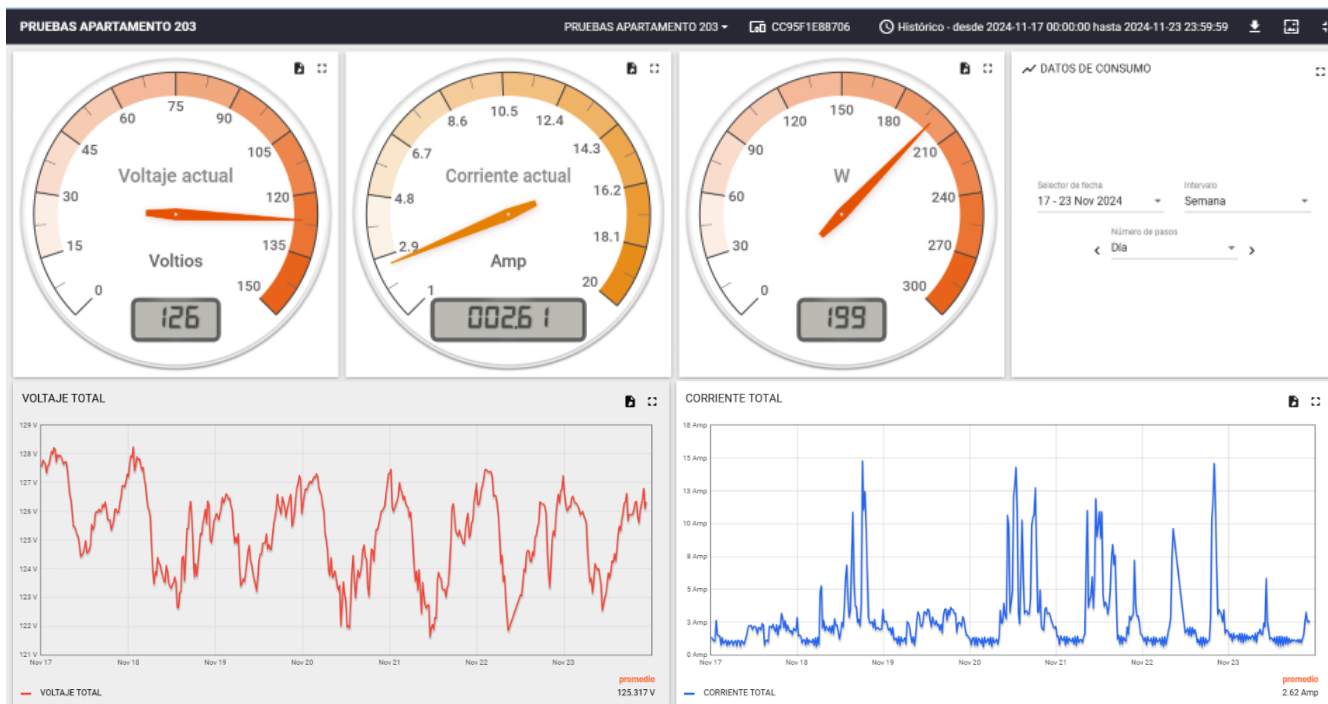


Nota: Se realiza la instalación del medidor inteligente eGeo Analyser en la caja de distribución eléctrica de la vivienda

Se creó el perfil de la casa del usuario, personalizando la plataforma para recolectar datos que se usaron en el desarrollo del informe.

Figura 10

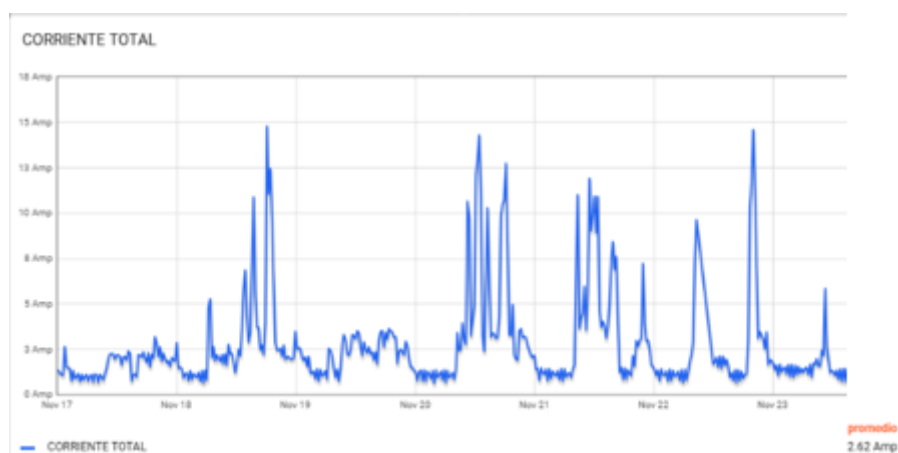
Plataforma de Tendencias y Valores de Consumo



Nota: Tomado de Plataforma dashboard de eGeo. Inicialmente se configuro la plataforma para medir la corriente y el voltaje durante el periodo de 30 días

Figura 11

Corriente Total

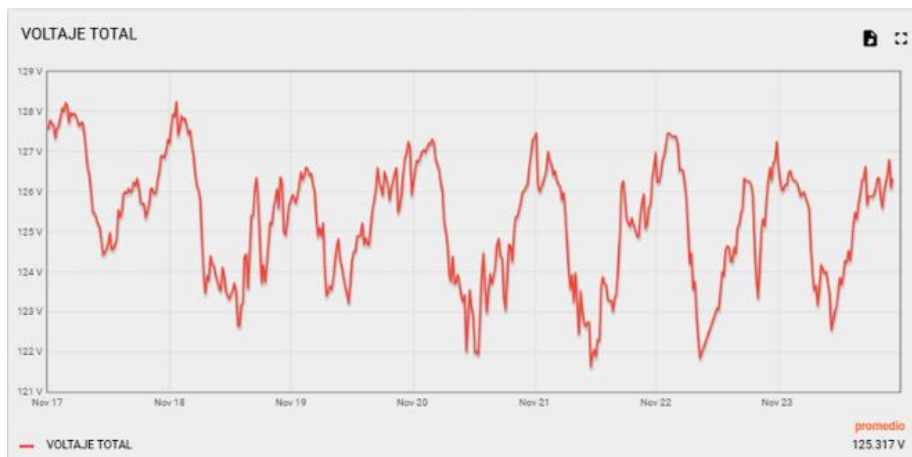


Nota: Esta gráfica muestra cómo varió el consumo de corriente en la casa a lo largo del periodo monitoreado. Los picos de corriente indican momentos de mayor demanda, como cuando

se usan electrodomésticos de alto consumo. Si hay fluctuaciones grandes, podrían indicar sobrecargas o un uso ineficiente de la electricidad.

Figura 12

Voltaje Total

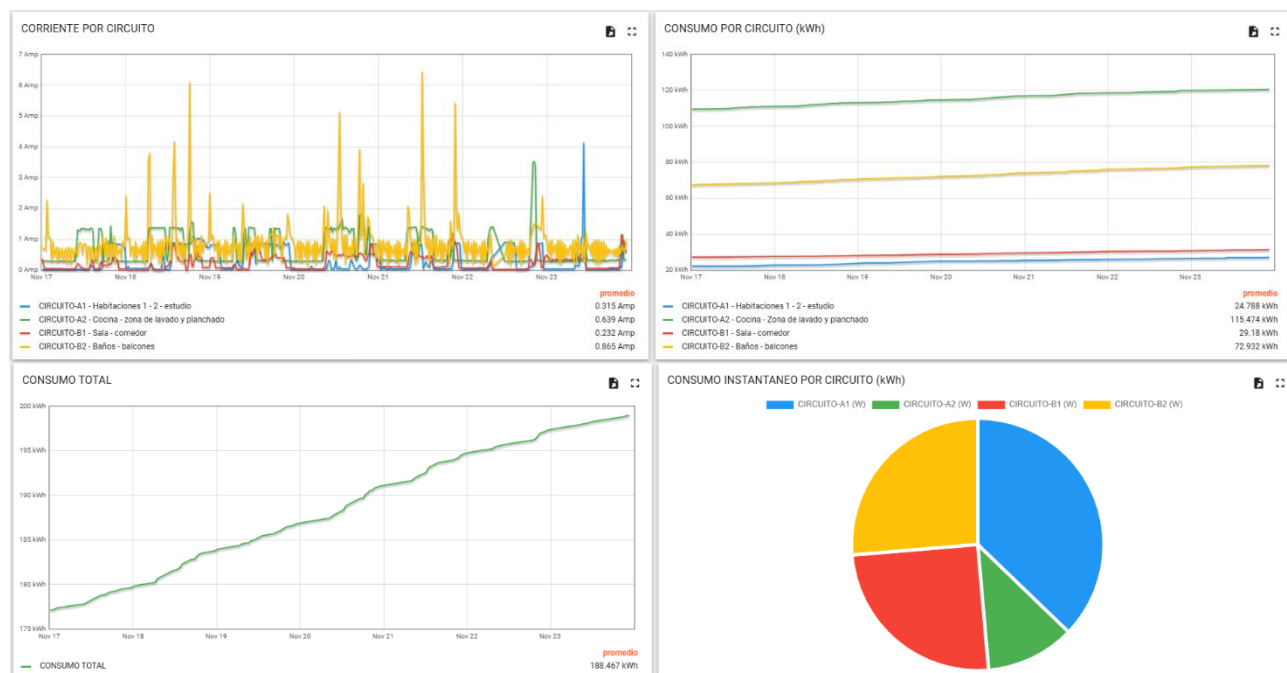


Nota: Esta grafica muestra las variaciones en el voltaje de la instalación. Si el voltaje es muy alto o bajo, puede ser un indicio de problemas en la red eléctrica o en la instalación interna.

Se agregaron otras graficas de monitoreo para desagregar la información de tal manera que se pudieran monitorear los circuitos de forma independiente, así mismo se hizo una revisión previa para saber qué dispositivos dependían de cada circuito para que el informe final que se presentó al usuario tuviera información más precisa. (Anexo 1)

Figura 13

Tendencias de Consumo Vivienda



Nota: Graficas plataforma eGeo

En el periodo de los 30 días de monitoreo se analizó el comportamiento general del sistema eléctrico que se registró en la gráfica del consumo total, mientras que la gráfica de consumo por circuito permitió desglosar la demanda de energía por áreas específicas del hogar.

Por último, la gráfica de consumo instantáneo por circuito proporcionó datos en tiempo real sobre el uso de cada uno, lo que facilitaba detectar posibles sobrecargas, comportamientos ineficientes o equipos que estaban utilizando más energía de lo esperado.

Con base en los datos recolectados previamente y los resultados del monitoreo realizado durante un periodo de 30 días, se elaboró el informe final para el usuario (Anexo 2). Este informe fue entregado al cliente, detallando el consumo energético por circuito registrado en dicho periodo y proporcionando recomendaciones de estrategias de eficiencia energética que

podrían ser implementadas en su hogar. Además, se incluyó una estimación de los posibles ahorros de consumo que se podrían obtener al aplicar dichas estrategias.

Validación con experto

Miguel Leonardo Roldan Pineda

Ingeniero Electricista, Especialista en Administración de empresas, maestría en diseño, gestión y dirección de proyectos

El experto en energías renovables y monitoreo eléctrico evaluó el desempeño del sistema eGEO Analyzer instalado en un hogar piloto. Durante la validación, observó el funcionamiento del dispositivo en tiempo real, incluyendo su capacidad para identificar dispositivos eléctricos y generar alertas ante picos de consumo. También revisó la interfaz de usuario, destacando su diseño intuitivo y la claridad en la presentación de los datos.

El experto resaltó la precisión del sistema y su capacidad para proporcionar recomendaciones prácticas que ayudan a optimizar el consumo energético. Además, valoró positivamente la facilidad de instalación y el potencial del sistema para fomentar hábitos responsables en los usuarios. Concluyó que el sistema es técnicamente sólido, viable y con alta aplicabilidad en hogares urbanos, especialmente en aquellos con acceso a conectividad estable.

Impacto técnico y práctico

Impacto Técnico

El sistema eGEO Analyzer, basado en tecnología NILM, demostró un impacto técnico significativo en la identificación de patrones de consumo energético en tiempo real. Su capacidad para recopilar datos precisos sin necesidad de sensores adicionales en cada electrodoméstico simplifica la implementación en hogares urbanos. Además, el diseño del sistema garantiza un alto nivel de precisión, permitiendo un monitoreo eficiente y confiable.

Esto lo posiciona como una solución innovadora que puede integrarse fácilmente en redes eléctricas domésticas, contribuyendo a una mejor gestión energética.

Potencial Práctico

La solución propuesta tiene un alto potencial práctico, ya que permite a los hogares identificar los dispositivos de mayor consumo y ajustar hábitos para optimizar su uso energético. En el hogar piloto, la implementación del sistema redujo el consumo diario en un 20.8%, destacando su efectividad económica y ambiental. Esta tecnología es escalable y aplicable en diversos escenarios reales, especialmente en contextos urbanos con acceso a internet estable. Asimismo, su enfoque educativo fomenta la adopción de prácticas sostenibles, alineándose con los objetivos globales de reducción de huella de carbono y eficiencia energética.

Análisis crítico

Limitaciones del Prototipo

A pesar de sus fortalezas, el sistema eGEO Analyzer presenta algunas limitaciones que deben abordarse para maximizar su rendimiento:

Dependencia de la Conectividad a Internet: El sistema requiere una conexión Wi-Fi estable para operar en tiempo real. En hogares con conexión inestable, esto puede limitar la experiencia del usuario y la efectividad del monitoreo.

Detección en Redes Complejas: Aunque el sistema mostró alta precisión en hogares estándar, su desempeño puede verse afectado en redes eléctricas con múltiples circuitos o dispositivos con consumos muy bajos, como cargadores de teléfonos.

Adopción del Usuario: Algunos usuarios pueden necesitar más tiempo para familiarizarse con la interfaz y las recomendaciones, especialmente si no están acostumbrados a interpretar datos técnicos.

Áreas de Mejora

Para superar estas limitaciones, se proponen los siguientes ajustes:

Conectividad Alternativa: Implementar opciones para almacenar datos localmente cuando la conexión a internet falle, sincronizándolos automáticamente cuando se restablezca la conexión.

Material Educativo: Ampliar las guías y materiales de sensibilización para garantizar que los usuarios comprendan cómo interpretar los datos y aplicar las recomendaciones de manera efectiva.

Interfaz Personalizada: Añadir opciones para personalizar la presentación de los datos según las necesidades del usuario, como históricos más detallados o vistas simplificadas.

Conclusiones

La implementación del monitoreo de cargas no intrusivo con Egeo representa un avance significativo en la gestión de la eficiencia energética, favoreciendo tanto el ahorro en los hogares bogotanos como el bienestar del medio ambiente. Egeo se ha demostrado como una herramienta eficaz y confiable para identificar patrones de consumo de manera precisa y en tiempo real, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas que promuevan prácticas sostenibles y responsables que beneficien la economía de los hogares.

Un aspecto innovador de Egeo es que no requiere modificar las redes eléctricas ni intervención directa para su funcionamiento. Su método no intrusivo permite proporcionar datos detallados sin afectar la privacidad ni la rutina cotidiana del hogar. Además, Egeo presenta una ventaja significativa sobre otros métodos o tecnologías, ya que no requiere instalaciones complejas ni infraestructura adicional y se adapta fácilmente a cualquier tipo de entorno. El modelo propuesto es viable tanto a pequeña como a gran escala, gracias a su fácil instalación y uso, lo que permite su adaptación en diferentes lugares, no exclusivamente domésticos.

Los resultados obtenidos respaldan la efectividad del monitoreo no intrusivo, aunque sería ideal implementar un algoritmo que proporcione recomendaciones más específicas y automáticas para optimizar el análisis de datos. El proyecto ha cumplido con el objetivo principal de implementar un sistema integrado que combina el uso del medidor inteligente Egeo con la técnica de monitoreo no intrusivo de cargas, proporcionando información detallada sobre el consumo por circuito, sin embargo, esta se complementó con una evaluación previa para determinar qué dispositivos estaban conectados en cada uno. Esto permitió generar un informe detallado al cliente sobre su consumo específico y general, así como recomendaciones para promover estrategias de eficiencia energética en su hogar. Lo ideal en el futuro sería desarrollar

un algoritmo que se integre con el dispositivo Egeo para identificar automáticamente los electrodomésticos o fuentes de consumo de energía, lo cual mejoraría la precisión de los informes.

La combinación de tecnologías como el eGeo Analyzer y el monitoreo no intrusivo de cargas contribuye al cumplimiento de las metas nacionales de eficiencia energética de acuerdo con los lineamientos del plan de acción PROURE (2023). El uso de dispositivos inteligentes en los hogares ayuda a reducir significativamente la demanda de energía, así como en la disminución de las emisiones de CO₂. Al proporcionar datos claros y precisos a los usuarios, estos pueden tomar decisiones de manera ágil y consciente, promoviendo una mayor conciencia sobre los hábitos de consumo.

Como recomendación adicional para implementar en un futuro, sería considerar la inclusión de un componente educativo que enseñe a los usuarios sobre prácticas de consumo responsable y ahorro de energía. Esto no solo aumentaría la efectividad del sistema, sino que también promovería una mayor participación y compromiso de los usuarios en las estrategias de eficiencia energética.

Anexos

Estudio previo de Consumo Energético por Circuito

Ciente: Diego Felipe Martínez Navarro

Periodo programado de análisis: 3/10/2024 - 3/11/2024

Dispositivo de monitoreo: eGEO Analyzer

1. Introducción

Este anexo tiene como objetivo detallar el estudio de consumo energético realizado en la vivienda, dividiendo los dispositivos conectados según los cuatro principales circuitos identificados: A1, A2, B1, y B2. Para cada circuito, se presenta una tabla con los dispositivos más relevantes, su potencia nominal y su consumo estimado. Además, se incluyen imágenes de los dispositivos para proporcionar una visión clara de su ubicación y características físicas.

2. Circuito A1: Habitación 1 y 2 - Estudio

Tabla 9

Circuito A1

CIRCUITO A1						
Estudio						
1	Bombillo	1	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
2	Camara	1	8 W	120 VAC	70 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
3	Monitor PC	1	40 W	120 VAC	29 kWh	Se promedia un uso de 2 horas diarias
4	Impresora	1	300 W	120 VAC	10 kWh	Se promedia un uso de 10 minutos diarios
Habitacion 1						
5	Bombillo	2	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
6	Camara	1	8 W	120 VAC	70 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
7	Televisor	1	200 W	120 VAC	219 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
8	Decodificador TV	1	20 W	120 VAC	175 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
Habitacion 2						
9	Bombillo	1	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
10	Camara	1	8 W	120 VAC	70 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
11	Televisor	1	200 W	120 VAC	219 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
12	Decodificador	1	20 W	120 VAC	175 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
13	Alexa Echodot	1	4 W	120 VAC	35 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas

Nota: Elaboración propia

3. Circuito A2: Cocina – Zona de lavado y planchado.

Tabla 10

Circuito A2

CIRCUITO A2						
Cocina - Zona de lavado y planchado						
1	Lavadora	1	1200 W	110/220 VAC	876 kWh	Se promedia un uso de 2 horas diarias
2	Nevera	1	150 W	110/220 VAC	1314 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
3	Freidora de aire	1	1100 W	120 VAC	200 kWh	Si se usa aproximadamente 30 minutos al día
4	Olla multifuncional	2	1000 W	120 VAC	182 kWh	Si se usa aproximadamente 30 minutos al día
5	Licuadora	1	1000 W	120 VAC	182 kWh	Si se usa aproximadamente 30 minutos al día
6	Jarra calentadora de agua	1	1500 W	120 VAC	273 kWh	Si se usa aproximadamente 30 minutos al día
7	Bombillo	2	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias

Nota: elaboración propia

4. Circuito B1: Sala – Comedor

Tabla 11

Circuito B1

CIRCUITO B1						
Sala - comedor						
1	Bombillo	2	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
2	Camara	1	8 W	120 VAC	70 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
3	Televisor	1	200 W	120 VAC	219 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
4	Modem internet	1	7 W	120 VAC	61 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
5	Decodificador TV	1	20 W	120 VAC	175 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
6	Consola de videojuego	1	200 W	120 VAC	146 kWh	Se promedia un uso de 2 horas diarias
7	Alexa Echodot	1	4 W	120 VAC	35 kWh	Se calcula con un uso de 24 horas
8	Aspiradora inteligente	1	50 W	120 VAC	18 kWh	Se promedia un uso de 1 hora diarias

Nota: elaboración propia

5. Circuito B2: Habitaciones Secundarias

Tabla 12

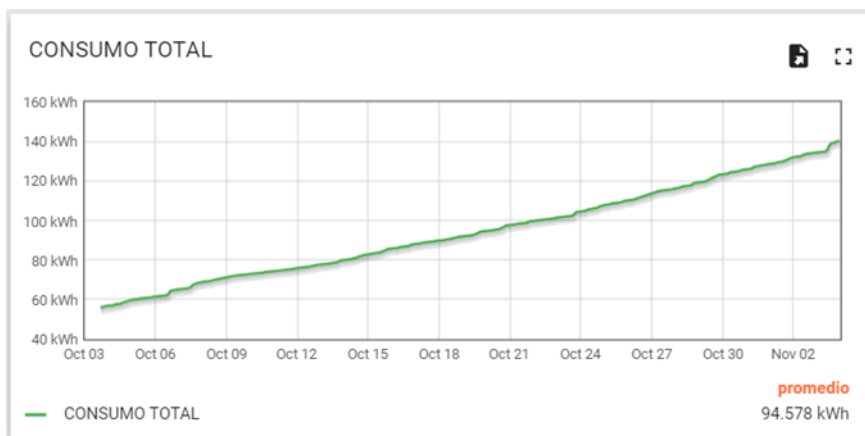
Circuito B2

CIRCUITO B2						
Baños- Balcones						
1	Bombillo	6	9 W	120 VAC	9.8 kWh	Se promedia un uso de 3 horas diarias
2	Plancha	1	1500 W	120 VAC	78 kWh	Se utiliza aproximadamente 1 hora a la semana.
3	Cepillo para cabello	1	50 W	120 VAC	9 kWh	Si se usa aproximadamente 30 minutos al día

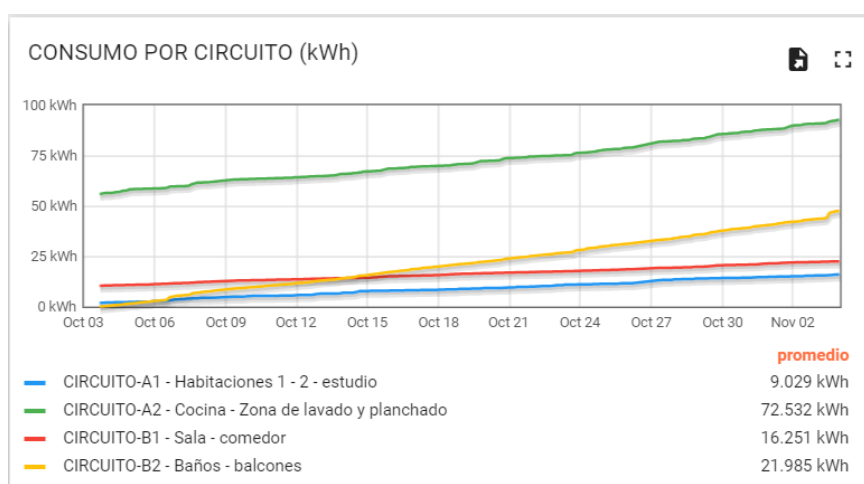
Nota: elaboración propia

6. Conclusión

El desglose por circuitos permite una mejor identificación de las áreas de mayor consumo dentro del hogar, facilitando la implementación de estrategias específicas para reducir el uso energético.

Informe de Monitoreo Energético: octubre 2024**Cliente:** Diego Felipe Martínez Navarro**Periodo de análisis:** 3/10/2024 - 3/11/2024**Dispositivo de monitoreo:** eGEO Analyzer**Consumo total:** 140.224 kWh**Valor kWh:** 801.28**1. Resumen del Consumo Energético por Circuitos****Figura 14***Consumo Total*

Nota: Tomado de eGeo Analyzer

Figura 15*Consumo por circuito*

Nota: Tomado de eGeo Analyzer

Tabla 13*Valor consumo*

Circuito	Zona Cubierta	Consumo Total	Costo
		(kWh)	Estimado (\$)
A1	Estudio - Habitación 1 y 2.	16.018	\$12.835
A2	Cocina - Zona de lavado y planchado	92.621	\$74.215
B1	Sala - Comedor	22.468	\$18.003
B2	Baños - Balcones	47.543	\$38.095

Nota: Elaboración propia

2. Análisis por Circuito***Circuito A1 (Estudio - Habitaciones 1 y 2)***

Este circuito tiene un consumo total de 16.018 kWh al mes, lo que representa un gasto mensual de \$12.835. Los dispositivos que más contribuyen al consumo son los televisores y decodificadores en las habitaciones 1 y 2, debido a su uso constante durante todo el día.

Además, las cámaras en cada área también suman al consumo, ya que se encuentran funcionando las 24 horas del día.

Circuito A2 (Cocina - Zona de Lavado y Planchado)

Este circuito representa aproximadamente el 51% del consumo total de la casa con un registro de consumo de 92.621 kWh, lo que representa un gasto mensual de \$74.215. Los principales consumidores de energía en este circuito son la nevera (funcionando 24 horas al día) y la lavadora y secadora.

Circuito B1 (Sala - Comedor)

Este circuito tiene un consumo total de 22.468 kWh al mes, lo que representa un gasto mensual de \$18.003. Los dispositivos que más contribuyen al consumo son el televisor y el decodificador de TV ambos con un uso constante durante todo el día. La cámara, el módem de internet y el Alexa Echo Dot también tienen un impacto significativo al funcionar 24 horas al día.

Circuito B2 (Baños - Balcones)

Este circuito tiene un consumo total de 47.543 kWh al mes, lo que representa un gasto mensual de \$38.095, y es la segunda zona con mayor consumo, representando el 27% del total. Este consumo es relativamente alto considerando que los dispositivos conectados son principalmente bombillos, un cepillo para cabello y una plancha. La plancha, aunque de alto consumo, solo se utiliza aproximadamente 1 hora a la semana. Los bombillos (6 unidades), y el cepillo para cabello, ambos con un uso más limitado. Este alto consumo puede deberse a factores como el uso prolongado de la plancha o el tipo de bombillos utilizados.

3. Acciones de Mejora por Zona

- Evaluar la eficiencia de los bombillos LED existentes, ya que, aunque los bombillos LED son generalmente más eficientes, hay modelos con diferentes niveles de eficiencia

energética. Se recomienda revisar si los bombillos LED actuales son de alta eficiencia (con clasificación A++ o superior) y considerar reemplazarlos por modelos más eficientes si es necesario, para maximizar el ahorro de energía.

- Desconectar dispositivos como televisores y decodificadores cuando no se utilicen. Utilizar enchufes inteligentes o regletas con interruptores para facilitar el apagado total.

- Usar temporizadores o enchufes inteligentes para los dispositivos que funcionan constantemente, como el televisor y el decodificador de TV, para apagarlos automáticamente cuando no se usen.

- Reducir el uso de la plancha, evaluando alternativas más eficientes o minimizando su tiempo de uso mediante técnicas de planchado más optimizadas.

- Optimizar el uso de la nevera, asegurándose de que la temperatura esté ajustada adecuadamente (alrededor de 4°C para el refrigerador y -18°C para el congelador), y verificar que las puertas cierren correctamente.

- Revisar el uso de la lavadora y la secadora, utilizando ciclos de bajo consumo o programando su uso en horarios de menor demanda energética. También es recomendable aprovechar al máximo la capacidad de la lavadora para evitar varios ciclos de lavado innecesarios.

4. Ahorro Estimado con Mejores Prácticas de Uso de Energía:

Ahorro Mínimo (10% de reducción):

- Si aplicamos las recomendaciones de eficiencia energética (como cambiar bombillos, desconectar dispositivos innecesarios, optimizar el uso de electrodomésticos, etc.), estimamos un 10% de reducción en el consumo total. Esto significa que se reducirían 14,022 kWh al mes.

Ahorro en dinero: 14,022 kWh * 801.28 pesos/kWh = 11,226.73 pesos al mes.

Ahorro Máximo (15% de reducción):

- Si las recomendaciones se implementan completamente y se optimizan al máximo, podemos llegar a un 15% de reducción en el consumo. Esto significa que se reducirían 21,034 kWh al mes.

Ahorro en dinero: $21,034 \text{ kWh} * 801.28 \text{ pesos/kWh} = 16,868.10 \text{ pesos al mes.}$

5. Conclusiones

- Impacto de las Acciones de Mejora en el Consumo Energético: A partir del análisis realizado, se observa que un ahorro significativo de energía es posible mediante la implementación de prácticas de uso eficiente, como la optimización del uso de electrodomésticos, la desconexión de dispositivos innecesarios y la mejora de la eficiencia de los bombillos. Si bien el ahorro mínimo proyectado es de un 10%, con un esfuerzo mayor se podría llegar a una reducción del 15% en el consumo energético mensual, lo que no solo generaría un impacto positivo en el costo de energía, sino que también contribuiría a la sostenibilidad.

- Identificación de las Principales Áreas de Consumo: Los circuitos que más consumen energía son la cocina (A2) y los baños (B2), que representan el 51% y 27% del consumo total, respectivamente.

- Recomendaciones para el Futuro: Se recomienda continuar monitoreando el consumo energético a través del eGEO Analyzer para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y ajustar las estrategias según sea necesario. Además, se podría considerar la incorporación de dispositivos inteligentes de monitoreo y control que faciliten la automatización de algunas de las prácticas recomendadas, mejorando así la eficiencia energética en todo momento.

- **Contribución al Bienestar Económico y Ambiental:** La reducción del consumo energético no solo implica un ahorro económico para el hogar, sino también un beneficio ambiental al disminuir la huella de carbono asociada con la generación de electricidad. Estas acciones pueden contribuir a una mayor conciencia sobre el uso responsable de la energía y a un futuro más sostenible para todos.

Referencias

- ambiente, M. d. (2024). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/ndc-2025/>
- Biblus. (2024). Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/que-es-y-que-beneficios-tiene-monitoreo-energetico/>
- blogs.iadb.org. (2024). Obtenido de <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/9-fuentes-de-financiamiento-para-tu-proyecto-de-cambio-climatico/>
- Bogota, O. A. (2021). Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/consumo-residencial-de-energia-por-habitante/>
- Carrera, S. (2017). *Zamorano*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/items/b7ddb4f1-7245-40ae-a4de-99c46585a856>
- Chacon, H. (10 de 06 de 2020). *erCommerce*. Obtenido de <https://energiayredes.com/blog/monitoreo-de-energia-electrica/>
- Donato, P., Carugati, I., Funes, M., & Ureña, J. (01 de Marzo de 2020). *Editores*. Obtenido de <https://www.editores-srl.com.ar/>
- eGeo. (01 de 05 de 2024). Obtenido de <https://www.egeo.co/shop>
- ELSPEC. (2024). Obtenido de www.elspec-ltd.com: <https://www.elspec-ltd.com/conociendo-la-norma-iec-61000-4-30-clase-a/?lang=es>
- ENEL. (2020). Obtenido de <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-energy-monitoring>
- Energy, K. (s.f.). *Kennen Energy Management*. Obtenido de <https://www.kennen.com.mx/sistemas-de-monitoreo-energetico>

- Fedesarrollo. (01 de 04 de 2021). *www.repository.fedesarrollo.org.co*. Obtenido de [https://bitstream/handle/11445/41110/Repor_Abril_2021_Martinez_Presentación.pdf?sequence=1](https://bitstream/handle/11445/41110/Repor_Abril_2021_Martinez_Presentacion.pdf?sequence=1)
- IBM. (2020). Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/smart-meter>
- IEA. (01 de 01 de 2020). *iea.blob.core.windows.net*. Obtenido de https://iea.blob.core.windows.net/assets/59268647-0b70-4e7b-9f78-269e5ee93f26/Energy_Efficiency_2020.pdf
- IMF. (2021). Obtenido de <https://blogs.imf-formacion.com/blog/corporativo/recursos-humanos/recursos-humanos-apple/>
- industria, E. (12 de 12 de 2019). Obtenido de <https://www.emb.cl/electroindustria/noticia.mvc?nid=20191212w3&ni=ya-estan-en-chile-los-nuevos-analizadores-y-medidores-inteligentes-de-egeo>
- INGENIERIA, I. (2020). Obtenido de <https://www.ifisa.es/consultoria-energetica/monitorizacion-de-consumo-energetico-por-que-es-necesario/>
- institute, E. c. (2006). Obtenido de <https://smartgridawareness.org/wp-content/uploads/2016/05/effectiveness-of-feedback-on-energy-consumption-darby-2006.pdf>
- OAB. (01 de 01 de 2021). *oab.ambientebogota.gov.co*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/asi-fue-la-tendencia-de-consumo-de-energia-en-el-sector-publico-distrital-de-los-ultimos-anos/>
- OAB. (10 de 28 de 2021). *oab.ambientebogota.gov.co*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/sabias-que-bogota-integra-energias-limpias-al-sistema-electrico-de-la-ciudad/>

Republica, C. d. (10 de 07 de 2021). *www.funcionpublica.gov.co*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=166326>

Salle, U. d. (01 de 01 de 2022). *ciencia.lasalle.edu.co*. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/6dae98f7-3fc3-4b1c-b9b2-4c4b0d01bcc2/content>

Sandova, T. (10 de 7 de 2023). Obtenido de <https://blogspanol.se.com/infraestructuras-y-redes-electricas/gestion-y-distribucion-de-la-energia/2023/07/10/medidores-de-energia-la-clave-para-una-gestion-eficiente-y-controlada/>

Structuralia. (2024). Obtenido de <https://blog.structuralia.com/el-papel-de-los-smart-meters-o-contadores-inteligentes-en-el-ahorro-energetico>

uexternado. (01 de 10 de 2023). Obtenido de <https://medioambiente.uexternado.edu.co:https://medioambiente.uexternado.edu.co/ley-2099-de-2021-por-medio-de-la-cual-se-dictan-disposiciones-para-la-transicion-energetica-la-dinamizacion-del-mercado-energetico-la-reactivacion-econom/>

Union, E. (01 de 01 de 2020). *eur-lex.europa.eu*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0080>

UPME. (2017). Obtenido de http://www.upme.gov.co/SeccionDemanda/PAI_PROURE_2017_2022.pdf

UPME. (7 de 2023). Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/UPME_Proyeccion_demanda_2023-2037_VF2.pdf

UPME. (2024). Obtenido de <http://www.upme.gov.co/>