Tecnologías energéticas eficientes para la optimización del consumo eléctrico residencial en el barrio Malvinas, Barrancabermeja

Autoras: **Francy Lisney Montagut Flórez**
francy_montagut@soy.sena.edu.co
Aprendiz

Diana Díaz - Yilliam Romero
didiazm@sena.edu.co - yxromero@sena.edu.co
Instructoras de Proyecto Productivo

Resumen

En el barrio Malvinas de Barrancabermeja, las altas temperaturas, las tarifas eléctricas elevadas y la presencia de electrodomésticos obsoletos hacen que la factura de energía sea una carga importante para los hogares. Este proyecto, desarrollado en el marco del programa Tecnólogo en Gestión Eficiente de la Energía del SENA, propone una solución basada en investigación, desarrollo experimental e innovación (I+D+i) que integra medición inteligente bidireccional, comunicación IoT en tiempo real, control remoto del servicio y simulación de paneles solares fotovoltaicos. El presente artículo describe, paso a paso, cómo se llevó a cabo el proyecto desde la identificación del problema hasta la ficha técnica del prototipo, mostrando cómo la vigilancia tecnológica se convierte en una herramienta poderosa para diseñar soluciones reales para comunidades vulnerables.

Palabras clave: eficiencia energética, consumo eléctrico residencial, tecnologías energéticas, ahorro de energía, monitoreo energético, hogares sostenibles.

Abstract

In the Malvinas neighborhood of Barrancabermeja, high temperatures, elevated electricity rates, and the presence of outdated household appliances make energy bills a significant burden for families. This project, developed within the framework of the SENA Technologist Program in Efficient Energy Management, proposes a solution based on research, experimental development, and innovation (R&D&I), integrating bidirectional smart metering, real-time IoT communication, remote service control, and simulation of photovoltaic solar panels. This article describes, step by step, how the project was carried out, from problem identification to the technical data sheet of the prototype, showing how technology watch becomes a powerful tool for designing real solutions for vulnerable communities.

Keywords: energy efficiency, residential electricity consumption, energy technologies, energy saving, energy monitoring, sustainable households.

Introducción

Barrancabermeja es una de las ciudades más cálidas de Colombia. Sus temperaturas, frecuentemente por encima de los 28 °C y con alta humedad, empujan a las familias a usar ventiladores, aires acondicionados y neveras durante muchas horas al día. En el barrio Malvinas, una comunidad de estrato socioeconómico 2 ubicada en la Comuna 5, esa situación se traduce en un consumo eléctrico elevado, dando como resultado facturas que muchas familias tienen dificultad para asumir.

A marzo de 2026, la Electrificadora de Santander (ESSA) reportó tarifas residenciales de $824,04/kWh para el estrato 1 y de $781,04/kWh para el estrato 2, bajo el esquema con activos de ESSA.

Aunque existe un subsidio, este solo aplica al consumo de subsistencia, establecido en 173 kWh/mes. Una vez superado este umbral, situación que puede ser común en climas cálidos, el valor de la factura puede incrementarse de manera significativa. A esto se suma una realidad estructural: la mayoría de hogares no cuenta con medidores inteligentes, no tiene visibilidad en tiempo real sobre su consumo y depende exclusivamente de la red convencional. Frente a este escenario, surge una pregunta concreta: ¿es posible diseñar un sistema accesible que permita a las familias del barrio Malvinas conocer cuánta energía consumen, identificar dónde se les escapa y proyectar el ahorro que tendrían si integraran energía solar?



esta delimitación, se estableció el contexto territorial del estudio en el barrio Malvinas, ubicado en la Comuna 5 de Barrancabermeja, Santander, Colombia, una zona residencial de estrato 2 caracterizada por condiciones de clima cálido-húmedo y altas temperaturas durante gran parte del año, factores que inciden directamente en el consumo eléctrico de los hogares.

Asimismo, el proyecto se enmarca en un contexto científico relacionado con la eficiencia energética residencial, las fuentes no convencionales de energía renovable, la medición inteligente bidireccional, el Internet de las Cosas y la simulación de sistemas fotovoltaicos. Desde el ámbito sectorial, se vincula con el servicio público domiciliario de energía eléctrica y con los lineamientos de transición energética justa promovidos por entidades como el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. (ESSA). En el componente formativo, el trabajo corresponde al programa Tecnólogo en Gestión Eficiente de la Energía, Ficha 2879927, del Centro de Industria y Servicios del Meta — SENA, bajo el formato GFPI-F-150 V5 con enfoque I+D+i.

Metodología

El proyecto se desarrolló siguiendo el formato GFPI-F-150 V5 del SENA, que estructura los Proyectos Productivos bajo el enfoque I+D+i en módulos secuenciales. A continuación se describe cada paso:

Paso 1. Aspectos generales: definir qué se quiere hacer y por qué

El primer módulo del formato exige delimitar el proyecto; por ello, se definió como título "Tecnologías energéticas eficientes para optimizar el consumo de energía en hogares del barrio Malvinas, Barrancabermeja, Santander". A partir de

Un componente central de este paso fue la construcción de la matriz de Vester, herramienta de análisis causal que permite jerarquizar problemas según sus niveles de influencia y dependencia. Para ello, las relaciones entre los problemas se valoran en una escala de 0 a 3, donde 0 indica ausencia de relación y 3 una influencia directa y fuerte; la suma de las filas determina la influencia y la de las columnas, la dependencia de cada problema. En el caso del barrio Malvinas se priorizaron cinco problemas que recogen las dimensiones tecnológica, económica, educativa y de infraestructura del consumo energético residencial:

• P1. Falta de conocimiento en eficiencia energética de los electrodomésticos (beneficios de tecnologías Inverter e IoT).

• P2. Falta de incentivos o subsidios locales directos para el barrio.

• P3. Ausencia de energía renovable en los hogares: dependencia exclusiva de la red eléctrica convencional (ESSA).

• P4. Equipos eléctricos y electrónicos obsoletos de alto consumo energético.

• P5. Bajo poder adquisitivo de las familias del barrio Malvinas.

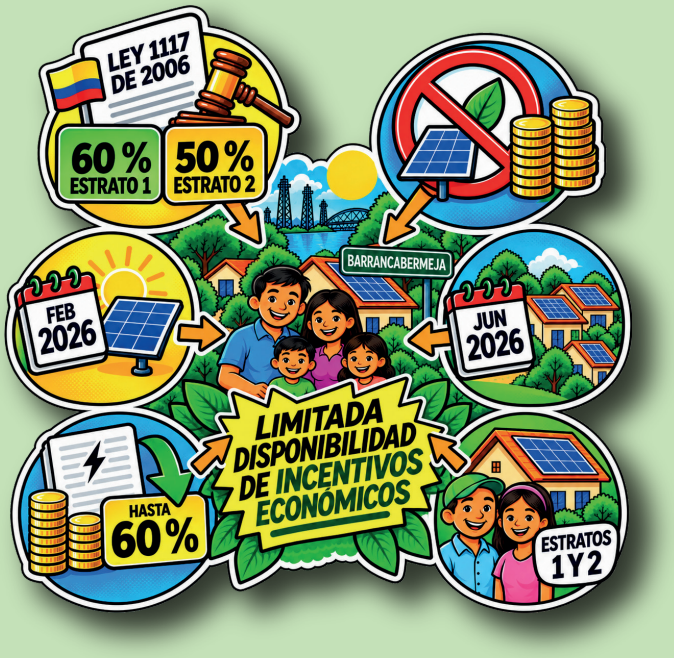
La selección de los cinco problemas no fue arbitraria. Siguió la metodología clásica de identificación propuesta por Vester (González Gutiérrez, 2022), que exige antes de la matriz un diagnóstico territorial riguroso. Para ello se combinaron tres tipos de fuentes: revisión documental de planes y políticas oficiales (UPME, Ministerio de Minas y Energía, CREG, ESSA, DNP); revisión de literatura especializada y reportes de organismos como Promigas, la CEPAL y la IEA; y caracterización del territorio mediante datos climáticos del IDEAM y datos socioeconómicos del DANE para la comuna 5 de Barrancabermeja. A continuación se justifica técnicamente cada problema identificado.



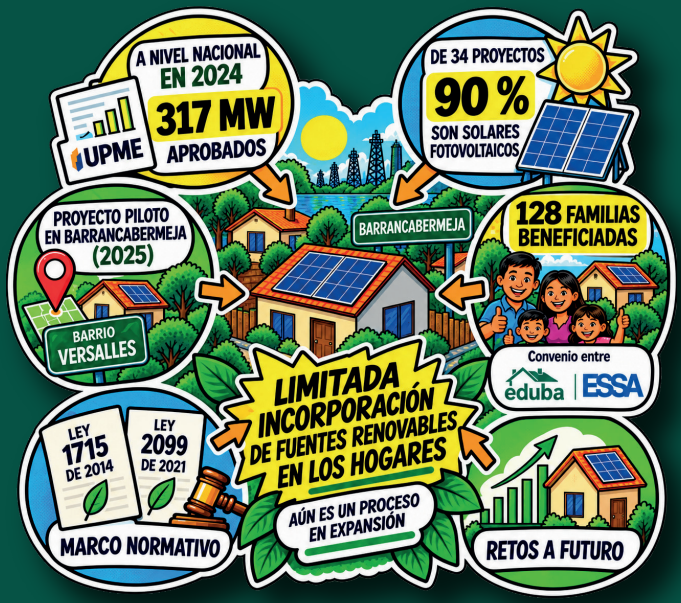
El problema 1 corresponde a las brechas relacionadas con el conocimiento y la adopción de prácticas y tecnologías de eficiencia energética. El Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI-PROURE) 2022—2030 establece medidas orientadas al mejoramiento de la eficiencia energética y señala que, para el sector residencial, existe un potencial de reducción del consumo de 523 PJ durante el periodo 2022—2030, asociado, entre otras acciones, al recambio tecnológico de equipos como estufas y neveras antiguas por alternativas más eficientes (Unidad de Planeación Minero Energética, 2022). Asimismo, el Balance de Energía Útil para Colombia identifica pérdidas asociadas con la obsolescencia tecnológica y las prácticas operativas inadecuadas, mediante la comparación de los equipos actualmente utilizados con las mejores tecnologías disponibles (Unidad de Planeación Minero Energética, 2018). En concordancia, el Plan Energético Nacional 2020—2050 señala que el consumo de energía final del país podría reducirse entre un 38 % y un 50 % mediante la adopción de las mejores tecnologías disponibles a nivel nacional, y hasta un 62 % con tecnologías de referencia internacional (Unidad de Planeación Minero Energética, 2026). Estos antecedentes evidencian la importancia de fortalecer el conocimiento y la adopción de tecnologías energéticamente eficientes; sin embargo, para afirmar específicamente que en el barrio Malvinas no existen programas locales de capacitación se requiere una fuente territorial o evidencia obtenida directamente en el diagnóstico del proyecto.

El problema 2 corresponde a la limitada disponibilidad de incentivos económicos focalizados que faciliten a los hogares de menores ingresos la adopción de soluciones de eficiencia energética y generación renovable. En Colombia, la Ley 1117 de 2006 estableció que los subsidios aplicables al consumo básico o de subsistencia pueden alcanzar como máximo el 60 % del costo de prestación del servicio para usuarios de estrato 1 y el 50 % para usuarios de estrato 2 (Congreso de Colombia, 2006). No obstante,

estos mecanismos no constituyen por sí mismos incentivos específicos para la incorporación de tecnologías energéticas eficientes o sistemas de autogeneración residencial. En este contexto, el Ministerio de Minas y Energía anunció en febrero de 2026 la iniciativa “Barrancabermeja Solar”, basada en el modelo de Cuadras Energéticas, dirigida a hogares de estratos 1 y 2 y con una reducción proyectada de hasta el 60 % en el valor de la factura mediante generación solar comunitaria (Ministerio de Minas y Energía, 2026). Posteriormente, en junio de 2026, el Ministerio informó el inicio del piloto en Barrancabermeja, orientado a que comunidades vulnerables puedan generar y compartir energía solar a escala barrial (Ministerio de Minas y Energía, 2026).

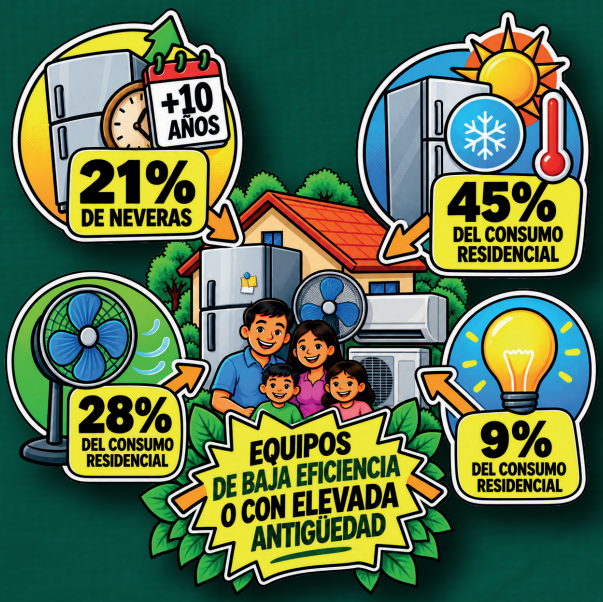


El problema 3 corresponde a la limitada incorporación de fuentes renovables en los hogares. En 2024, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) aprobó 317 MW de nueva generación para el Sistema Interconectado Nacional; de los 34 proyectos aprobados, el 90 % correspondió a proyectos solares fotovoltaicos, evidenciando el avance de esta tecnología dentro de la diversificación de la matriz energética nacional (Unidad de Planeación Minero Energética, 2024). En Barrancabermeja, durante 2025 se desarrolló un proyecto piloto de energía solar fotovoltaica que benefició a 128 familias de estratos 1 y 2 del barrio Versalles, mediante un convenio entre Empresa de Desarrollo Urbano y Vivienda de Interés Social de Barrancabermeja (Eduba) y ESSA (Alcaldía Distrital de Barrancabermeja, 2025a, 2025b). Aunque las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021 establecen el marco para promover la integración de fuentes no convencionales de energía renovable, estos antecedentes muestran que la incorporación de soluciones fotovoltaicas en hogares vulnerables de Barrancabermeja se encuentra todavía en proceso de expansión.



El problema 4 corresponde a la presencia de equipos eléctricos y electrónicos de baja eficiencia o con elevada antigüedad. El Balance de Energía Útil evidencia la importancia de la refrigeración dentro del consumo eléctrico residencial y muestra que, para el parque de neveras analizado, aproximadamente el 21 % de los equipos tenía más de diez años de antigüedad (Unidad de Planeación Minero Energética, 2018). Esta situación adquiere especial relevancia en zonas de clima cálido, donde la refrigeración representa aproximadamente el 45 % del consumo de electricidad residencial, seguida por la ventilación con el 28 % y la iluminación con el 9 % (UPME, s. f.). Estos datos sustentan la

pertinencia de evaluar la eficiencia y antigüedad de los equipos utilizados por los hogares como variables asociadas al consumo energético. En el caso específico del barrio Malvinas, la antigüedad y eficiencia de neveras, ventiladores y aires acondicionados deberán determinarse mediante el diagnóstico realizado en los hogares participantes, evitando asumir previamente que predominan equipos obsoletos.



Finalmente, el problema 5 corresponde al bajo poder adquisitivo de las familias y su relación con la capacidad para acceder y aprovechar adecuadamente los servicios energéticos. La tercera edición del Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) reportó que, en 2024, el 15,4 % de la población colombiana, equivalente a aproximadamente 8,1 millones de personas, se encontraba en condición de pobreza energética (Promigas, & Fundación Promigas, 2025). Esta situación resulta especialmente relevante en territorios con condiciones climáticas cálidas como Barrancabermeja, donde los registros climatológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el aeropuerto Yariguíes muestran temperaturas medias mensuales entre 27,4 °C y 28,9 °C y temperaturas máximas medias entre 34,1 °C y 35,8 °C (IDEAM, 2000). Estas condiciones incrementan la necesidad de climatización y ventilación de los hogares y pueden ejercer presión sobre el consumo eléctrico y el presupuesto familiar. En la matriz de Vester desarrollada para el proyecto, el bajo poder adquisitivo presentó una dependencia de 10 puntos, evidenciando su relación con los demás problemas identificados y la importancia de considerar la dimensión socioeconómica en la formulación de alternativas de eficiencia energética para los hogares del barrio Malvinas.

Tabla 1
Matriz de Vester aplicada a los problemas energéticos del barrio Malvinas

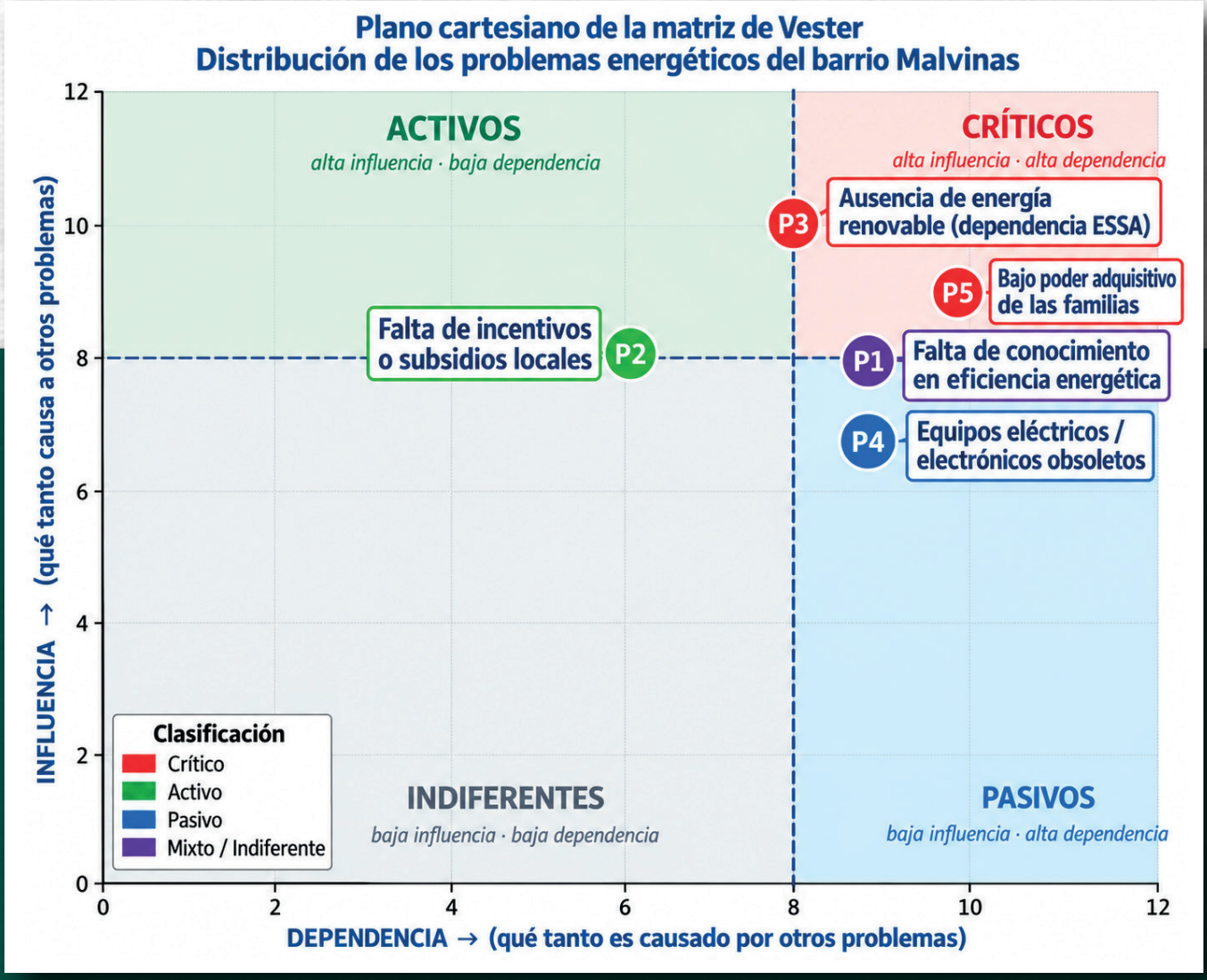
Variable / Problema	Código	P1	P2	P3	P4	P5	Influencia
Falta de conocimiento en eficiencia energética	P1	0	1	2	3	2	8
Falta de incentivos o subsidios locales	P2	2	0	3	1	2	8
Ausencia de energía renovable / dependencia ESSA	P3	2	3	0	2	3	10
Equipos eléctricos / electrónicos obsoletos	P4	3	0	1	0	3	7
Bajo poder adquisitivo de las familias	P5	2	2	2	3	0	9
DEPENDENCIA		9	6	8	9	10	42

Nota: La Matriz de Vester prioriza los problemas energéticos del barrio Malvinas según su influencia y dependencia.

Fuente: Elaboración propia

Para entender mejor la dinámica entre los problemas, sus valores de influencia y dependencia se representan en un plano cartesiano. Cada problema se ubica como un punto, y dos líneas divisorias trazadas en el valor 8 (cerca del promedio) parten el plano en cuatro cuadrantes que corresponden a las categorías de Vester como se muestra en la figura 1.

Figura 1
Plano cartesiano de la matriz de Vester



Nota: Las líneas punteadas separan los cuadrantes en el valor 8; cada punto representa un problema con su par (Dependencia, Influencia).

Fuente: Elaboración propia

La gráfica revela visualmente la asimetría del sistema. P3 (Ausencia de energía renovable) se ubica en la parte alta del eje Y, lo que confirma su carácter como el problema con mayor capacidad de causar otros. P5 (Bajo poder adquisitivo) aparece en el extremo derecho, mostrando que es el problema más dependiente: casi todos los demás contribuyen a perpetuarlo. P2 (Falta de incentivos) se encuentra claramente en el cuadrante activo, alejado del eje de dependencia, lo que lo hace particularmente interesante para una intervención de política pública. P4 (Equipos obsoletos) cae en el cuadrante pasivo, confirmando que es más una consecuencia que una causa primaria. Finalmente, P1 (Falta de conocimiento) se ubica sobre la frontera entre el cuadrante crítico y el mixto, advirtiendo que es un problema transversal que requiere atención simultánea.

Una vez calculados los totales, cada problema se ubica en un cuadrante según su nivel de influencia (qué tanto causa a otros) y de dependencia (qué tanto es causado por otros). Esto permite distinguir entre cuatro tipos de problemas y, sobre todo, identificar dónde conviene intervenir, como se resume en la tabla 2.

Tabla 2

Clasificación de los problemas según los cuadrantes de Vester.

Cuadrante	Qué significa	Problemas en este caso
Críticos	Alta influencia y alta dependencia. Son el núcleo del sistema: causan otros problemas y a la vez son causados por ellos. Su intervención genera un efecto en cascada.	P3 (Ausencia de energía renovable) y P5 (Bajo poder adquisitivo)
Activos	Alta influencia y baja dependencia. Causan muchos problemas pero pocos los causan a ellos. Son excelentes puntos de partida para la intervención.	P2 (Falta de incentivos o subsidios locales)
Pasivos	Baja influencia y alta dependencia. Son más efectos que causas. Mejoran cuando se atacan los problemas críticos y activos.	P4 (Equipos obsoletos)
Indiferentes / mixtos	Valores medios en ambos ejes. No son prioridad inmediata pero deben monitorearse.	P1 (Falta de conocimiento en eficiencia energética)

Nota: La clasificación por cuadrantes permite identificar los problemas críticos, activos, pasivos e indiferentes según su nivel de influencia y dependencia.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la matriz revela que el sistema energético residencial del barrio Malvinas está dominado por factores estrechamente entrelazados. La ausencia de energía renovable (P3, la mayor influencia con 10) y el bajo poder adquisitivo (P5, con la mayor dependencia: 10) constituyen el corazón del problema: son críticos porque cada uno alimenta al otro. Una familia no invierte en paneles solares porque no puede pagarlos, y al no diversificar su matriz energética queda atrapada en facturas crecientes que reducen aún más su capacidad de inversión. Es un círculo que se retroalimenta.

La falta de incentivos locales (P2) se comporta como un problema activo: con poca dependencia pero con alta capacidad de transformar el sistema. Esto significa que una política pública focalizada —subsidios específicos, líneas de financiación blanda, programas comunitarios de energía solar como las cuadras energéticas anunciadas en 2026— tendría un impacto significativamente positivo sobre el resto de problemas.

Los electrodomésticos obsoletos (P4) son consecuencia más que causa: cuando una familia tiene mayor capacidad económica y acceso a información sobre eficiencia energética, naturalmente reemplaza sus equipos. Y la falta de conocimiento (P1), aunque tiene valores intermedios, es transversal: actúa como amplificador silencioso de todos los demás problemas.

El resultado de la matriz indica que la solución no puede ser puramente tecnológica. Cualquier intervención que pretenda transformar la realidad energética del barrio Malvinas debe combinar tres frentes: tecnologías accesibles que respondan al bajo poder adquisitivo, educación energética que cierre las brechas de conocimiento, y un modelo económico que aproveche o impulse incentivos locales. Esta triple mirada es precisamente la que orienta el diseño del prototipo descrito más adelante.

Paso 2. Aspectos base: qué tecnologías mirar y a quién impactar

En este módulo se establecieron los Factores Críticos de la Tecnología a Vigilar (FCTV), es decir, los puntos específicos en los que se debía concentrar la búsqueda de información. Se priorizaron cuatro:

- FCTV 1: Precisión y estabilidad de la medición bidireccional en condiciones reales.

- FCTV 2: Ciberseguridad en protocolos de medición inteligente (AMI/IoT).

- FCTV 3: Seguridad operativa y continuidad del servicio en procesos de corte y reconexión remota.

- FCTV 4: Degradación de la eficiencia de los paneles solares por estrés térmico.



Factores Críticos de la Tecnología a Vigilar (FCTV)

La selección de los Factores Críticos de la Tecnología a Vigilar (FCTV) se realizó mediante un criterio de priorización orientado a identificar, para cada una de las tecnologías consideradas en el prototipo, aquellos aspectos técnicos que podrían comprometer su desempeño, confiabilidad o seguridad. Este enfoque se articula con la vigilancia e inteligencia tecnológica planteada en la Asociación Española de Normalización (UNE 166006:2018) (Asociación Española de Normalización UNE, 2018), que establece lineamientos para la búsqueda, tratamiento y aprovechamiento sistemático de información relevante para apoyar la toma de decisiones en procesos de I+D+i. La definición de los FCTV consideró normas técnicas, literatura científica y las características de la aplicación propuesta para los hogares del barrio Malvinas.

FCTV 1. Precisión y estabilidad de la medición bidireccional. La medición bidireccional constituye un componente relevante para los esquemas de autogeneración a pequeña escala con entrega de excedentes a la red, actividad regulada en Colombia mediante la Resolución CREG 174 de 2021 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2021). Desde el componente técnico, las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 62052-11:2020 e IEC 62053-21:2020 establecen requisitos generales, ensayos, condiciones de prueba y clases de exactitud aplicables a equipos de medición de energía eléctrica (International Electrotechnical Commission, s.f.). En consecuencia, la precisión de las mediciones constituye un factor crítico para el prototipo, debido a que desviaciones en los registros pueden afectar la estimación del balance entre la energía consumida y la energía potencialmente entregada a la red. Por esta razón, la simulación deberá contemplar parámetros de medición compatibles con los requerimientos técnicos aplicables.

FCTV 2. Ciberseguridad en protocolos AMI/IoT. La incorporación de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) implica intercambio, transmisión y almacenamiento de información relacionada con el consumo energético, lo que introduce riesgos asociados con la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos. El NISTIR 7628 Rev. 1 establece lineamientos de ciberseguridad para redes eléctricas inteligentes, incluyendo aspectos relacionados con AMI, protección de información y privacidad (Pillitteri & Brewer, 2014). De manera complementaria, el Cybersecurity Framework Smart Grid Profile proporciona un marco para gestionar riesgos de ciberseguridad en sistemas de

redes eléctricas inteligentes (Marron et al., 2019). En el prototipo propuesto para Malvinas, este FCTV resulta relevante debido a que el sistema contempla captura, almacenamiento y visualización de datos energéticos mediante una interfaz digital; por ello, la simulación debe considerar mecanismos básicos de autenticación, control de acceso y protección de la información.

FCTV 3. Seguridad operativa en el corte y reconexión remota. La incorporación de funciones de gestión remota requiere considerar la seguridad de las comunicaciones y el control de las operaciones realizadas sobre los dispositivos eléctricos. En este sentido, los protocolos de comunicación empleados en sistemas de medición inteligente contemplan mecanismos orientados al intercambio seguro y estructurado de información entre los diferentes componentes del sistema. Para el proyecto, la seguridad operativa se establece como factor crítico debido a que cualquier función de control remoto debe impedir operaciones no autorizadas y reducir riesgos derivados de activaciones involuntarias. En consecuencia, dentro del alcance del prototipo esta funcionalidad se abordará principalmente mediante simulación, incorporando mecanismos de autenticación, registro de eventos y confirmación del usuario antes de ejecutar acciones de reconexión. Esta delimitación permite evaluar conceptualmente la funcionalidad sin intervenir físicamente instalaciones eléctricas residenciales.



FCTV 4. Efecto de la temperatura sobre el desempeño de los paneles solares fotovoltaicos. La temperatura de operación constituye una variable relevante en el comportamiento de los módulos fotovoltaicos, debido a que el incremento de la temperatura de las celdas puede reducir su eficiencia y potencia de salida. La literatura científica ha documentado la relación entre temperatura y desempeño eléctrico de los módulos fotovoltaicos, así como diferentes modelos para estimar su comportamiento bajo condiciones reales de operación (Skoplaki, E., & Palyvos, J. A., 2009). Este factor adquiere especial importancia para el proyecto debido a las condiciones climáticas cálidas de Barrancabermeja; por ello, la simulación del sistema deberá incorporar variables de temperatura y radiación solar para evitar estimar el desempeño fotovoltaico únicamente a partir de condiciones nominales de laboratorio. La vigilancia de este FCTV permitirá comparar tecnologías y parámetros de operación más adecuados para el contexto residencial estudiado.

Estos cuatro factores cubren toda la cadena técnica del prototipo: medir, comunicar, gestionar y generar. Cada uno está respaldado por normas internacionales y literatura especializada. Solo después de haber definido qué vigilar pudo el proyecto avanzar hacia los productos y procesos a impactar. Estos se definieron: una interfaz de comunicación con alertas de consumo, un sistema de monitoreo energético residencial, la simulación de un sistema integrado de energía renovable y un análisis caracterizado del consumo en los hogares de Malvinas.

Paso 3. Identificación de tecnologías y grado de madurez (TRL)

El proyecto se concentró en cuatro tecnologías clave. Cada una se evaluó según su nivel de madurez (TRL, por sus siglas en inglés), una escala internacional que va de 1 (idea básica) a 9 (producto comercial en el mercado), como se resume en la tabla 3.

Tabla 3

Tecnologías clave del Proyecto Malvinas

Tecnología	Aporte al proyecto	TRL y justificación
Medición inteligente bidireccional	Registra simultáneamente la energía que el hogar toma de la red ESSA y los excedentes que los paneles solares podrían inyectar. Se modela y simula en MATLAB/Simulink mediante un sistema OFDM.	TRL 4. El desarrollo se encuentra en una fase de validación de componentes en un entorno controlado de simulación. La arquitectura de medición bidireccional puede integrarse y evaluarse mediante MATLAB/Simulink, pero todavía no ha sido validada en viviendas reales del barrio Malvinas.
Interfaz de comunicación IoT	Captura, transmite y almacena datos de consumo mediante ZigBee, Python y SQLite; además, contempla alertas de sobreconsumo y almacenamiento de históricos.	TRL 4. Los componentes tecnológicos pueden integrarse y probarse en un entorno controlado para verificar la transmisión, almacenamiento y visualización de datos. No obstante, aún se requiere validar el funcionamiento integral de la solución bajo condiciones reales de conectividad y consumo residencial.
Corte y reconexión remota	El proyecto plantea adaptar el concepto de gestión remota mediante un dashboard que permita al usuario controlar determinados dispositivos asociados al consumo energético.	TRL 3. Se cuenta con la formulación conceptual de la funcionalidad y con una propuesta de aplicación al contexto residencial; sin embargo, todavía no se dispone de un prototipo integrado y validado experimentalmente que permita comprobar su funcionamiento y condiciones de seguridad.
Paneles solares fotovoltaicos	Se modela su incorporación mediante MATLAB/Simulink y HOMER Pro considerando las condiciones climáticas de Barrancabermeja, con el propósito de estimar su comportamiento y viabilidad técnica y económica sin realizar una instalación física.	TRL 3 para la solución propuesta. Aunque la tecnología fotovoltaica es comercialmente madura, en este proyecto su integración al sistema residencial se encuentra en una etapa de prueba de concepto mediante modelación y simulación. Aún no se ha construido ni validado el sistema fotovoltaico integrado en un entorno residencial real.

Nota. Los niveles TRL corresponden al grado de madurez alcanzado por la aplicación e integración de cada tecnología dentro del prototipo propuesto para el Proyecto Malvinas, y no al grado de madurez comercial de las tecnologías consideradas individualmente.

Fuente: Elaboración propia

Paso 4. Plan de la Vigilancia Tecnológica

Antes de lanzarse a buscar información, el proyecto definió un plan de Vigilancia Tecnológica (VT). Esto incluyó tres tipos de criterios: los criterios personales (constancia, agilidad, lectura, análisis, persistencia), los parámetros técnicos (autores, años, países, instituciones, temáticas) definen cómo se tabularán los resultados, los parámetros de diseño (tendencias, brechas, picos, dispersiones) orientan la presentación gráfica de la información encontrada. Adicionalmente, se construyó un cronograma con 12 sesiones de búsqueda escalonadas.



Paso 5. Ejecución de la Vigilancia Tecnológica

Se definieron palabras clave en español e inglés (medición inteligente bidireccional, monitoreo energético IoT, automatización energética, sistemas híbridos residenciales, energía solar residencial, entre otras) y se diseñaron 18 ecuaciones de búsqueda combinándolas con operadores booleanos (AND, OR, NOT). Algunas de las ecuaciones más relevantes fueron:

- "Smart Energy Management" AND "IoT Energy Monitoring" AND "Hybrid Energy Systems"

- "IoT Energy Monitoring" OR "Smart Load Control" AND "Energy Efficiency"

- "Smart Home Automation" AND "Energy Efficiency"

- "Residential Energy Consumption" AND "Renewable Energy Integration"

Las búsquedas se ejecutaron en bases de datos científicas (ProQuest, ScienceDirect, Scopus, EBSCO, Engineering Source, Energy & Power Source, IEEE Xplore) y de patentes (Espacenet, Google Patents), con restricciones temporales entre 2022 y 2026. Cada resultado se valoró del 1 al 10 según su pertinencia para el proyecto.

Paso 6. Resultados: lo que se encontró

La Vigilancia Tecnológica permitió identificar publicaciones científicas y desarrollos relacionados con sistemas de gestión energética residencial, Internet de las Cosas (IoT), microcontroladores de bajo costo, integración de fuentes renovables y técnicas de inteligencia artificial aplicadas al análisis del consumo energético. Entre los hallazgos con mayor pertinencia para el proyecto se destacan los siguientes: Sistemas de gestión energética residencial basados en IoT. Nandish & Pushparajesh (2025) desarrollaron un sistema de gestión de energía renovable basado en IoT para la operación económica de cargas residenciales. La propuesta integra estrategias de gestión y desplazamiento de cargas considerando los requerimientos del usuario, lo que evidencia el potencial de estas tecnologías para optimizar la utilización de la energía en entornos residenciales. Este enfoque resulta pertinente para el proyecto Malvinas, particularmente para la simulación de escenarios de consumo y la gestión de cargas eléctricas.

Microcontroladores de bajo costo para monitoreo energético. El-Khozondar et al. (2024) desarrollaron un sistema inteligente de monitoreo energético basado en un microcontrolador ESP32, diseñado para

recopilar y procesar información proveniente de medidores de energía. El sistema registra variables como voltaje, corriente, potencia activa y consumo acumulado, y transmite la información al usuario en tiempo real. Estos resultados respaldan la viabilidad técnica de utilizar microcontroladores de bajo costo como alternativa para futuros desarrollos del prototipo de monitoreo energético residencial.

Integración de energías renovables e IoT. Bagdadee et al. (2025) propusieron un sistema híbrido de gestión energética para viviendas inteligentes que integra generación fotovoltaica, energía eólica, almacenamiento e IoT. En el entorno simulado evaluado por los autores, la solución alcanzó mejoras de eficiencia de hasta el 72,3 %, reducciones de costos energéticos de hasta el 61 % y disminuciones de emisiones de CO_2 superiores al 61 % frente a sistemas convencionales. Estos resultados evidencian el potencial de integrar generación renovable, monitoreo en tiempo real y gestión inteligente de la energía, componentes relacionados directamente con la solución tecnológica propuesta para el proyecto.

Inteligencia artificial para el análisis del consumo energético. Himeur et al. (2020) desarrollaron un enfoque basado en micro momentos y redes neuronales profundas para identificar comportamientos anómalos en el consumo eléctrico residencial. Este tipo de desarrollos evidencia el potencial de las técnicas de inteligencia artificial para analizar patrones de consumo, detectar comportamientos atípicos y apoyar estrategias orientadas a reducir el desperdicio energético. Aunque estas funcionalidades no forman parte del alcance inicial del prototipo, constituyen una posible línea de evolución tecnológica del sistema.

En conjunto, los resultados de la Vigilancia Tecnológica muestran una tendencia hacia la integración de monitoreo energético en tiempo real, IoT, gestión inteligente de cargas, fuentes renovables y análisis avanzado de datos. Estos hallazgos respaldan la orientación tecnológica del proyecto y permiten priorizar componentes viables para el desarrollo de un prototipo funcional simulado en el contexto residencial del barrio Malvinas.



Paso 7 Prototipo

En el contexto de un proyecto productivo bajo el enfoque I+D+i, un prototipo es la materialización conceptual y técnica de la respuesta que el aprendiz propone frente al problema diagnosticado, sustentada en evidencia rigurosa. Para este proyecto, el prototipo se materializa a través de tres elementos:

- Un diseño funcional documentado: arquitectura del sistema, diagramas de bloques, especificación de los sensores propuestos, protocolos de comunicación seleccionados (ZigBee, IoT), esquema del dashboard residencial y descripción detallada de los flujos de datos.

- Simulaciones computacionales: el comportamiento del medidor bidireccional y del sistema solar fotovoltaico se modela

en MATLAB/Simulink, y la viabilidad del esquema solar bajo las condiciones reales de radiación de Barrancabermeja se proyecta en HOMER Pro. Estas simulaciones cumplen el rol de prueba de concepto que la escala TRL reconoce como evidencia válida en TRL 3.

- Vigilancia tecnológica documentada: cada decisión técnica del diseño está respaldada por las normas internacionales (IEC, ANSI, NIST), los artículos científicos y las patentes identificadas en los pasos previos del proyecto.

En la tabla 4 se resumen los componentes del prototipo.



Tabla 4
Componentes del prototipo

Componente	Función dentro del prototipo
Sensores IoT	Capturan variables eléctricas (tensión, corriente, potencia) en los circuitos críticos del hogar. Se comunican mediante protocolo ZigBee.
Software de procesamiento (Python + SQLite)	Recibe la información de los sensores, la almacena en una base de datos local y la organiza para visualización y análisis histórico.
Modelo de medición bidireccional (MATLAB/ Simulink)	Simula el comportamiento del medidor inteligente: registra cuánto consume el hogar y cuánto inyectaría a la red si tuviera paneles solares.
Simulador fotovoltaico (HOMER Pro)	Modela la generación solar bajo las condiciones reales de radiación de Barrancabermeja y proyecta el ahorro económico potencial.
Dashboard residencial	Panel de control visual y amigable para el usuario. Muestra el consumo actual, diario y mensual, emite alertas de sobreconsumo y permite gestionar dispositivos a distancia.

Nota: Componentes funcionales del prototipo residencial para el monitoreo, procesamiento, simulación y visualización del consumo energético. IoT = Internet de las cosas.

Fuente : Elaboración propia

La Vigilancia Tecnológica no solo confirmó que las tecnologías existen, sino que reveló parámetros novedosos que se incorporaron al diseño. El prototipo evidencia cuatro innovaciones frente a lo que existe hoy en hogares de estratos bajos en Colombia:

1. De medidores acumulativos a monitoreo en tiempo real: los hogares pasarán de medidores que solo muestran el consumo total mensual, a sensores IoT que muestran el consumo instantáneo por circuito.

2. De red eléctrica única a generación distribuida: la simulación permite proyectar el hogar como una unidad capaz de autoabastecerse parcialmente con energía solar.

3. De gestión empresarial a gestión del usuario: la tecnología de corte y reconexión, antes exclusiva de la ESSA, se pone a disponibilidad del usuario como herramienta de ahorro mediante el dashboard.

4. De la inversión inmediata a la simulación previa: el uso de HOMER Pro y MATLAB/Simulink permite evaluar la viabilidad económica de los paneles solares sin que la familia deba invertir antes de tener certezas.

Usabilidad y escalabilidad

El prototipo se proyecta inicialmente para los hogares del barrio Malvinas; no obstante, su diseño modular permite su ajuste y escalabilidad a otros contextos residenciales con condiciones energéticas similares. Sus componentes se articulan para visualizar el consumo energético en tiempo real, emitir alertas de sobreconsumo, identificar equipos de baja eficiencia, simular escenarios con y sin generación solar fotovoltaica y estimar el ahorro económico potencial para las familias. Estas funcionalidades permiten que el prototipo pueda emplearse como herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre el uso eficiente de la energía y, posteriormente, evolucionar hacia escenarios de validación con datos y dispositivos reales.

El desarrollo del prototipo también permitió llevar a la práctica competencias específicas del programa Tecnólogo en Gestión Eficiente de la Energía, relacionadas a continuación:

Tabla 5
Competencias específicas del programa Tecnólogo en Gestión Eficiente de la Energía

Código	Nombre de la competencia
220201072	Configurar el sistema de gestión de la energía de acuerdo con la normativa y estándares técnicos, mediante el análisis del consumo, la identificación de oportunidades de eficiencia energética y la estructuración de alternativas orientadas a mejorar el desempeño energético
220201093	Estructurar sistema de energías renovables según procedimiento técnico y normativa ambiental, aplicada en la modelación de escenarios de generación solar fotovoltaica
210601026	Procesar datos de acuerdo con procedimiento técnico y metodología estadística, evidenciada en la captura, almacenamiento, procesamiento, interpretación y visualización de los datos energéticos
220501046	Utilizar herramientas informáticas de acuerdo con las necesidades de manejo de información, puesta en práctica mediante la integración de Python, SQLite, MATLAB/Simulink, HOMER Pro y el dashboard del prototipo

Fuente : Elaboración propia

Competencias que corresponden expresamente al programa de formación del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2023).

Asimismo, el proyecto permitió desarrollar la competencia 240201064 — Orientar investigación formativa según referentes técnicos, particularmente mediante el proceso de vigilancia tecnológica, la formulación de ecuaciones de búsqueda, la consulta de bases de datos científicas y de patentes, el análisis de tendencias tecnológicas y la utilización de estos resultados para sustentar las decisiones de diseño del prototipo. En este sentido, la usabilidad y escalabilidad alcanzadas no constituyen únicamente características técnicas del producto, sino también evidencias de la transferencia de los aprendizajes del programa a la solución de una problemática energética identificada en un contexto residencial real.

Para avanzar del diseño conceptual del prototipo hacia una estructura funcional simulada, se utilizó Codex como herramienta de apoyo para la generación, organización y depuración del código correspondiente a los módulos de captura de datos, procesamiento, almacenamiento y visualización de datos energéticos. Técnicamente, facilitó la integración de herramientas como Python, SQLite y componentes de simulación para representar el comportamiento del consumo eléctrico residencial, emitir alertas de sobreconsumo y proyectar escenarios con y sin incorporación de energía solar. De esta manera, Codex no reemplazó el análisis técnico del equipo, sino que actuó como asistente de programación para acelerar la construcción del prototipo, mejorar la coherencia entre sus componentes y validar la lógica operativa del sistema antes de una posible implementación física, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Arquitectura funcional del prototipo de monitoreo energético residencial



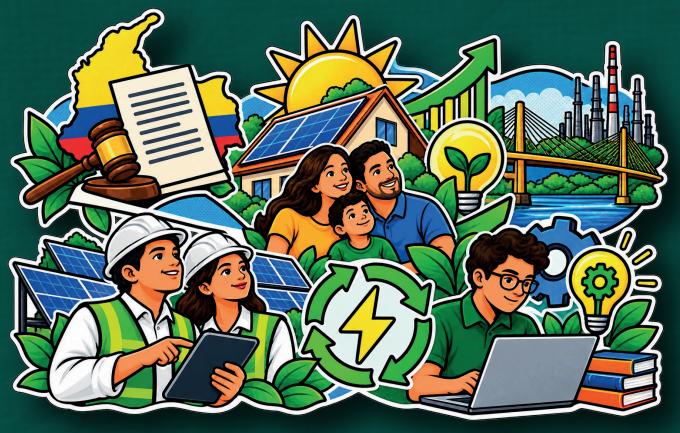
Nota. Articulación entre los sensores IoT, el módulo de procesamiento, el modelo de medición bidireccional, el simulador fotovoltaico y el dashboard residencial. Codex se utilizó como apoyo técnico para estructurar la lógica de programación, organizar los módulos del prototipo y simular el flujo de datos energéticos del sistema.

Fuente : Elaboración propia

Proyección e impacto esperado

El proyecto se alinea con el Plan Nacional de Desarrollo 2022—2026, con la Ley 1715 de 2014 (actualizada por la Ley 2099 de 2021) y con el Plan de Acción Indicativo PROURE 2022—2030, instrumentos que promueven la transición energética justa en Colombia. Adicionalmente, se conecta con la alianza firmada en 2025 entre el Ministerio de Minas y Energía y la Alcaldía de Barrancabermeja para impulsar proyectos solares en familias vulnerables, así como con el modelo de cuadras energéticas anunciado en 2026 para barrios populares de la ciudad.

En el plano local, la implementación de este prototipo permitiría a los hogares de Malvinas: comprender mejor su consumo, reducir desperdicios, contar con argumentos técnicos para evaluar la inversión en paneles solares y participar de iniciativas comunitarias de generación distribuida. En el plano formativo, demuestra cómo la formación profesional integral del SENA, articulada con el enfoque I+D+i, puede generar soluciones reales para problemas reales.



Conclusiones

Este proyecto demuestra que la Vigilancia Tecnológica no es un ejercicio académico aislado: es una metodología poderosa para conectar lo que se publica en el mundo con las necesidades concretas de una comunidad. El paso a paso que va desde la matriz de Vester hasta la ficha del prototipo permite construir soluciones con rigor técnico y sensibilidad social.

El prototipo propuesto, híbrido, modular y basado en simulación, responde a las cuatro tecnologías priorizadas, integra los hallazgos científicos más recientes y se ajusta a las condiciones reales de Barrancabermeja. Su mayor virtud es facilitar el acceso a información y herramientas de monitoreo energético que tradicionalmente han sido manejadas solo por las empresas prestadoras, devolviendo a las familias el poder de decidir sobre su consumo. Asimismo, el desarrollo del proyecto permitió evidenciar la transferencia de las competencias del programa Tecnólogo en Gestión Eficiente de la Energía a una situación concreta del contexto residencial. Se integraron competencias asociadas con la gestión eficiente de la energía, la estructuración de alternativas con fuentes renovables, el procesamiento de datos, el uso de herramientas informáticas y la investigación formativa para diseñar y desarrollar un prototipo orientado al monitoreo, análisis y simulación del consumo energético de los hogares del barrio Malvinas. Esta articulación entre formación y proyecto permitió trascender la aplicación aislada de conocimientos y avanzar hacia una solución I+D+i en la que las competencias adquiridas se materializan en funcionalidades verificables del prototipo.

Más allá del prototipo, el proyecto deja una invitación abierta: replicar este enfoque en otros barrios vulnerables del país, articulando ciencia, tecnología, comunidad y política pública. En tiempos de transición energética justa, soluciones como esta no son un lujo, sino una necesidad.

Referencias

Alcaldía Distrital de Barrancabermeja. (2025, 22 de mayo). Inició socialización a comunidades, potenciales beneficiarias del proyecto de paneles solares. https://www.barrancabermeja.gov.co/publicaciones/3146/inicio-socializacion-a-comunidades-potenciales-beneficiarias-del-proyecto-de-paneles-solares/

Alcaldía Distrital de Barrancabermeja. (2025, 29 de octubre). ¡Estamos cumpliendo! Primera factura de energía en cero y con saldo a favor. https://www.barrancabermeja.gov.co/publicaciones/3646/estamos-cumpliendo-primera-factura-de-energia-en-cero-y-con-saldo-a-favor/

Asociación Española de Normalización. (2018). UNE 166006:2018: Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia e inteligencia. AENOR. https://tienda.aenor.com/p/norma-une-166006-2018-n0059973

Bagdadee, A. H., Rahman, M. S., Al Mamoon, I., Dewi, D. A., Islam, A. K. M. M., & Zhang, L. (2025). Empowering smart homes by IoT-driven hybrid renewable energy integration for enhanced efficiency. Scientific Reports, 15, 41491. https://doi.org/10.1038/s41598-025-25328-2

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2021, 7 de octubre). Resolución 174 de 2021: Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm

Congreso de Colombia. (2006, 27 de diciembre). Ley 1117 de 2006: Por la cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=22656



El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Abd El Halim, A. A. E. B. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. e-Prime: Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 9, 100666. https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666

González Gutiérrez, N. R. (2022). Priorizar problemas en el aprendizaje de las matemáticas usando la matriz de Vester. Revista Boletín Redipe, 11(2), 447—460. https://doi.org/10.36260/rbr.v11i2.1695

Himeur, Y., Alsalemi, A., Bensaali, F., & Amira, A. (2020). A novel approach for detecting anomalous energy consumption based on micro-moments and deep neural networks. Cognitive Computation, 12, 1381—1401. https://doi.org/10.1007/s12559-020-09764-y

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2000, 16 de junio). Tabla de valores mensuales de los principales parámetros meteorológicos: Barrancabermeja. https://bart.ideam.gov.co/cliciu/barran/tabla.htm

International Electrotechnical Commission. (2020). IEC 62052-11:2020: Electricity metering equipment—General requirements, tests and test conditions—Part 11: Metering equipment.
https://webstore.iec.ch/en/publication/28212

Marron, J. A., Gopstein, A. M., Bartol, N., & Feldman, L. (2019). Cybersecurity framework smart grid profile (NIST Technical Note 2051). National Institute of Standards and Technology.
https://doi.org/10.6028/NIST.TN.2051

Ministerio de Minas y Energía. (2026, 5 de febrero). Barrancabermeja sería piloto de "cuadras energéticas", el modelo solar que apunta a bajar tarifas.
https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/barrancabermeja-seria-piloto-de-cuadras-energeticas-el-modelo-solar-que-apunta-a-bajar-tarifas/

Ministerio de Minas y Energía. (2026, 6 de junio). Arranca en Barrancabermeja la revolución de las Cuadras Energéticas: energía solar para aliviar el bolsillo de las familias.
https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/arranca-en-barrancabermeja-la-revolucion-de-las-cuadras-energeticas-energia-solar-para-aliviar-el-bolsillo-de-las-familias/

Nandish, B. M., & Pushparajesh, V. (2025). Economic operation of residential load using IoT-based renewable energy management system. Electrical Engineering, 107, 37—52.
https://doi.org/10.1007/s00202-024-02473-x

Pillitteri, V. Y., & Brewer, T. L. (2014). Guidelines for smart grid cybersecurity (NISTIR 7628 Rev. 1). National Institute of Standards and Technology.
https://doi.org/10.6028/NIST.IR.7628r1

Promigas, & Fundación Promigas. (2025). Índice Multidimensional de Pobreza Energética (IMPE) 2025.
https://www.promigas.com/Paginas/NoticiasESP/IMPE-2025.aspx

Servicio Nacional de Aprendizaje. (2023). Diseño curricular del programa de formación titulada Gestión eficiente de la energía (código 821207, versión 1).

Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. Solar Energy, 83(5), 614—624.
https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2018). Primer balance de energía útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética: Reporte final. Corpoema & UPME.
https://bdigital.upme.gov.co/entities/publication/f47d5845-01f3-4502-9e2d-089904649bf9

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2022, abril). Plan de Acción Indicativo del PROURE: PAI-PROURE 2022—2030.
https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Presentacion_plan_accion_indicativo_PROURE-PAI_PROURE_2022-2030.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024, 9 de mayo). Proyectos de generación: Comunicado 21.
https://docs.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado_21_UPME_Proyectos_generacion_9_05_2024.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2026). Plan Energético Nacional.
https://www.upme.gov.co/simec/planeacion-energetica/plan-energetico-nacional-1/