



**Metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a la propiedad horizontal en Bogotá D.C.**

**Natalia Ramírez Ramírez  
Andrés Felipe Suárez Castañeda**

**Universidad Ean  
Facultad Administración  
Magister en Gerencia de Proyectos  
Magister en Innovación**

**Bogotá D.C., Colombia  
30/11/2025**

**Metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a la  
propiedad horizontal en Bogotá D.C.**

**Natalia Ramírez Ramírez  
Andrés Felipe Suárez Castañeda**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magister en Gerencia de Proyectos**

**Magister en Innovación**

**Director (a):  
Leidy Natalia Zapata Restrepo**

**Modalidad:  
Monografía**

**Universidad Ean  
Facultad Administración  
Magister en Gerencia de Proyectos  
Magister en Innovación**

**Bogotá D.C., Colombia  
30/11/2025**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

---

Bogotá, 28 de noviembre de 2025

METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

A las personas que son esenciales en mi vida.

En memoria de un excelente hombre, fuerte, resiliente y profundamente noble, cuyas enseñanzas, valores y ejemplo permanecen vivos en cada decisión que tomo y en cada logro que alcanzo.

Este trabajo lleva impresa su huella, su sabiduría y su amor infinito, mi papi.

A mi amada madre, cuyo amor incansable, su fe en mí y sus oraciones constantes han sido un refugio y una fortaleza en los momentos más desafiantes.

A mi pequeña princesa, que ilumina mi vida y me impulsa a ser mejor cada día.

A mi pequeño príncipe azul, cuyo amor y presencia me motivan a seguir creciendo y construyendo un futuro lleno de propósito.

A mi querido esposo, compañero incondicional, que con su apoyo y paciencia me impulsa a avanzar y creer en mis capacidades.

A mis tres hermanas, fuentes de paz, compañía y complicidad, que me recuerdan que nunca camino sola.

Y a mis tres sobrinos, que con sus sonrisas y ternura alimentan mi alma y llenan mi vida de alegría.

A todos ustedes, gracias por ser mi fuerza, mi hogar y mi razón constante para seguir adelante.

—NATALIA R.

METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

A todas las personas que habitamos esta ciudad, a quienes nacieron aquí y a quienes llegamos buscando un lugar para crecer.

A esta “nevera” generosa, que nos alimenta con oportunidades cada día y nos permite trabajar y aprender, para vivir con dignidad. Agradezco profundamente a esta ciudad por abrirme sus puertas, por permitirme soñar.

Dedico este trabajo como un pequeño aporte para mirar la ciudad desde una nueva perspectiva: una que nos recuerde que quienes la habitamos también debemos asumir un mayor compromiso con el mundo que compartimos.

A la vida y a Dios, por traerme hasta este momento. En honor a María del Carmen Reyes, a toda mi familia, su amor y fortaleza han sido guía y compañía en el camino.

—ANDRÉS FELIPE SUAREZ C.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a los docentes de la Universidad EAN, que acompañaron nuestros procesos de formación en el estudio de los diferentes programas a los que optamos con este proyecto. Agradecemos especialmente a los administradores y residentes de los conjuntos Parque residencial nuevo suba etapa 1 lote 3, Conjunto Residencial Rincón de la Alameda, Palermo I y Moralia I, por su apertura en la participación de esta investigación. Así mismo, a docente y directora de esta monografía Leidy Natalia Zapata Restrepo quien nos contribuyó desde su mirada experta a dar un norte y lograr llegar a un resultado satisfactorio para nosotros.

## Resumen

Este trabajo propone una metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a la propiedad horizontal en Bogotá D.C. Parte del reconocimiento de que los conjuntos residenciales enfrentan un incremento sostenido en el costo de la energía y limitaciones para adoptar prácticas eficientes debido a barreras técnicas y organizacionales. La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto que integró análisis normativo y documental, encuestas a residentes, validación estadística mediante el coeficiente alfa de Cronbach ( $\alpha = 0,609$ ) y procesamiento de datos oficiales del sistema O3-SSPD.

Los resultados evidenciaron bajo conocimiento de la normativa vigente (RETIE y RETIQ), escasa comprensión del consumo energético, ausencia de mecanismos formales de gobernanza y mayor vulnerabilidad en edificaciones con equipos obsoletos. Con base en estos hallazgos, se diseñó una metodología estructurada en cinco componentes: educación energética, acompañamiento técnico, reemplazo eficiente de equipos, formulación del Plan de Ahorro Energético para Propiedad Horizontal (PAE-PH) alineado con ISO 50001 y creación de un sistema comunitario de gobernanza energética. La evaluación permitió estimar potenciales de ahorro energético entre el 20 % y el 50 %, dependiendo de las condiciones técnicas y organizacionales de cada conjunto residencial. Se concluye que la transición energética en la propiedad horizontal requiere un enfoque sistémico que articule tecnología, comportamiento y organización.

**Palabras clave:** eficiencia energética, propiedad horizontal, gobernanza energética, transición energética, ISO 50001, sostenibilidad urbana.

### **Abstract**

This work proposes an integrated energy management methodology with a sociobehavioral approach, applied to residential condominium properties during their operational phase in Bogotá D.C. It is based on the recognition that residential complexes face a sustained increase in energy costs and limitations in adopting efficient practices due to technical and organizational barriers. The research was conducted using a mixed-method approach that integrated regulatory and documentary analysis, resident surveys, statistical validation through Cronbach's alpha ( $\alpha = 0.609$ ), and the processing of official data from the O3-SSPD system.

The results revealed low awareness of current regulations (RETIE and RETIQ), limited understanding of energy consumption, absence of formal energy governance mechanisms, and greater vulnerability in buildings with obsolete equipment. Based on these findings, a methodology structured around five components was developed: energy education, technical assistance, efficient equipment replacement, formulation of an Energy Savings Plan for Condominium Properties (PAE-PH) aligned with ISO 50001, and the creation of a community-based energy governance system. The evaluation estimated potential energy savings ranging from 20% to 50%, depending on the technical and organizational conditions of each property. It is concluded that the energy transition in condominium properties requires a systemic approach that integrates technology, behavior, and organization.

**Keywords:** energy efficiency, condominium properties, energy governance, energy transition, ISO 50001, urban sustainability.

## Contenido

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>6</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>8</b>
<b>Contenido.....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>14</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>15</b>
<b>2 Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivo general .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3 Justificación .....</b>	<b>18</b>
<b>4 Marco teórico .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Estado del arte.....</b>	<b>20</b>
4.1.1 Transición energética .....	20
4.1.2 Eficiencia energética .....	21
4.1.3 Propiedad horizontal.....	27
4.1.4 Fuentes de consumo energético en PH .....	29
4.1.5 Huella de carbono en el sector residencial .....	31
4.1.6 Fase de operación en propiedad horizontal (PH).....	32
4.1.7 Tecnologías en eficiencia energética.....	33
4.1.8 Prácticas en eficiencia energética .....	36

METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

4.1.9	Estrategias en eficiencia energética.....	37
4.1.10	Teorías relevantes para la eficiencia energética.....	39
<b>5</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>41</b>
5.1	Hipótesis nula ( $H_0$ ):.....	41
5.2	Hipótesis alterna 1 ( $H_1$ ):.....	41
5.3	Hipótesis alterna 2 ( $H_2$ ):.....	41
<b>6</b>	<b>Variables.....</b>	<b>42</b>
6.1	Tabla 5. Matriz de variables.....	42
<b>7</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>43</b>
7.1	Enfoque y alcance de la investigación.....	43
7.2	Diagnóstico de las principales fuentes de consumo energético, y su impacto en la huella de carbono en la PH en su fase de operación en Bogotá D.C.....	44
7.2.1	Definir población y muestra.....	44
7.2.2	Extracción de datos secundarios O3–SSPD y del registro de PH.....	46
7.2.3	Diseñar y validar instrumentos.....	49
7.2.4	Proceso de validación.....	50
7.3	Instrumento 1: análisis de bases de datos oficiales.....	51
7.4	Instrumento 2: matriz de caracterización socio-energética.....	52
7.5	Instrumento 3: encuesta estructurada.....	54
7.6	Instrumento 4: módulo de validación y análisis de coherencia interna.....	55
7.7	Análisis del coeficiente alfa de Cronbach.....	57
7.8	Integración y depuración de datos (proceso ETL).....	58
7.8.1	Extracción (extract).....	58

# METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

7.8.2	Transformación (transform) .....	59
7.8.3	Carga e integración (load) .....	59
<b>7.9</b>	<b><i>Analizar tecnologías, prácticas y estrategias actuales de eficiencia energética aplicables a la PH .....</i></b>	<b>61</b>
7.9.1	Catálogo de tecnologías, prácticas y estrategias de eficiencia energética aplicables a la propiedad horizontal .....	61
7.9.2	Cruce del catálogo con la información oficial O3–SSPD para estimar el potencial técnico de ahorro.63	
7.9.3	Matriz multicriterio (AHP/MAUT) y curvas de costo de abatimiento.....	64
7.9.4	Secuenciación estratégica de medidas: no regret, inversión media y alta inversión .....	67
<b>8</b>	<b><i>Propuesta de metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a la propiedad horizontal en Bogotá D.C. ....</i></b>	<b>68</b>
<b>8.1</b>	<b>Impacto potencial de las estrategias propuestas para la transición a la eficiencia energética en la PH en su fase de operación en Bogotá D.C. ....</b>	<b>68</b>
8.1.1	Propuesta metodológica integral para la transición hacia la eficiencia energética en propiedad horizontal .....	68
<b>8.2</b>	<b>Componente 1: educación y cultura energética.....</b>	<b>70</b>
<b>8.3</b>	<b>Componente 2: asistencia técnica local y diagnósticos comunitarios .....</b>	<b>71</b>
<b>8.4</b>	<b>Componente 3: programa integral de reemplazo eficiente.....</b>	<b>71</b>
<b>8.5</b>	<b>Componente 4: plan de gestión energética del conjunto (PGE–PH) .....</b>	<b>72</b>
<b>8.6</b>	<b>Componente 5: gobernanza comunitaria e interinstitucional .....</b>	<b>72</b>
<b>8.7</b>	<b>Plan de medición y verificación (M&amp;V) basado en IPMVP – opción C .....</b>	<b>73</b>
8.7.1	Evaluación ex-ante del impacto mediante escenarios usando la base O3–SSPD.....	74
<b>8.8</b>	<b>Escenario 1: intervenciones técnicas mínimas.....</b>	<b>74</b>
<b>8.9</b>	<b>Escenario 2: estrategias comportamentales y retroalimentación continua .....</b>	<b>75</b>
<b>8.10</b>	<b>Escenario 3: transformación organizacional y gobernanza energética.....</b>	<b>75</b>

METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

<b>8.11</b>	<b>Escenario 4: implementación integral .....</b>	<b>75</b>
8.11.1	Integración QUAL+QUAN con joint displays y meta-inferencia .....	75
<b>9</b>	<b><i>Discusión .....</i></b>	<b>77</b>
9.1	Patrones de consumo y prioridad de estratos 3 y 4.....	77
9.2	Línea base por tipologías: cargas críticas identificadas.....	79
9.3	Hallazgos sociales: barreras de información y participación .....	81
9.4	Medición del nivel de gobernanza energética en propiedad horizontal .....	83
9.5	Integración cuantitativo–cualitativa: brecha entre desempeño y gobernanza.....	85
9.6	Pertinencia del enfoque integral propuesto .....	87
9.7	Dependencias identificadas para materializar el potencial técnico .....	89
<b>10</b>	<b><i>Conclusiones y trabajo futuro .....</i></b>	<b>91</b>
10.1	Trabajo futuro.....	93
<b>11</b>	<b><i>Referencias .....</i></b>	<b>95</b>
<b>12</b>	<b><i>Anexos</i></b>	

## Lista de figuras

<i>Figura 1. Etiquetado de electrodomésticos según RETIQ</i> .....	22
<i>Figura 2. Secuencia metodológica para fortalecer la gestión energética durante la fase de operación en propiedad horizontal</i> .....	33
<i>Figura 3. Clasificación de tecnologías de eficiencia energética según su impacto potencial en la reducción del consumo eléctrico en propiedad horizontal (PH)</i> .....	35
<i>Figura 4. Distribución de PH por estrato y localidad en Bogota, 2025</i> .....	46
<i>Figura 5. Consumo per cápita por estrato, Bogotá, 2025</i> .....	48
<i>Figura 6. Cantidad de suscriptores residenciales de energía eléctrica, Bogotá, 2025</i> .....	49
<i>Figura 7. Flujo conceptual del proceso ETL (Extract, Transform, Load), Bogotá, 2025</i> .....	60
<i>Figura 8. Gráfica de la solución de la metodología propuesta</i> .....	70
<i>Figura 9. Proceso de medición y verificación de energía bajo IPMVP – opción C</i> .....	74
<i>Figura 10. Distribución de suscriptores y consumo promedio por estrato (O<sub>3</sub>-SSPD)</i> .....	79
<i>Figura 11. Nivel de conocimiento normativo (PROURE/RETIQ)</i> .....	81
<i>Figura 12. Relación entre el nivel de gobernanza y el EUI ajustado en propiedad horizontal</i> .....	84
<i>Figura 13. Triada ampliada para la eficiencia energética sostenible en propiedad horizontal</i> .....	88

## Lista de tablas

<i>Tabla 1. Matriz regulatoria comparada de eficiencia energética Latam</i> .....	23
<i>Tabla 2. Barreras que limitan la sostenibilidad de las prácticas de eficiencia energética en propiedad horizontal (PH)</i> .....	37
<i>Tabla 3. Factores condicionantes para la eficiencia energética en propiedad horizontal (PH)</i> .....	38
<i>Tabla 4. Teorías relevantes aplicadas a la eficiencia energética en propiedad horizontal</i> .....	39
<i>Tabla 5. Matriz de variables</i> .....	42
<i>Tabla 6. Estructura temática de la encuesta</i> .....	54
<i>Tabla 7. Catálogo de tecnologías, prácticas y estrategias</i> .....	62
<i>Tabla 8. Potenciales técnicos preliminares por categoría de acción</i> .....	63
<i>Tabla 9. Estructura de la matriz multicriterio</i> .....	64
<i>Tabla 10. Secuenciación estratégica de medidas</i> .....	68
<i>Tabla 11. Línea base energética comparada por tipología</i> .....	81
<i>Tabla 12. Barreras percibidas por los residentes</i> .....	82
<i>Tabla 13. Joint Display sugerido 1</i> .....	86

## 1 Introducción

La discusión global sobre la mitigación de la huella de carbono, la eficiencia energética y la resiliencia urbana ha adquirido una relevancia creciente frente a los efectos del cambio climático y los desafíos contemporáneos de seguridad energética. En América Latina, estas preocupaciones se intensifican debido al crecimiento acelerado de las ciudades, la presión sobre los sistemas de energía y agua, y la necesidad de reducir la vulnerabilidad de los sectores residenciales ante escenarios de variabilidad climática. En Colombia, el sector residencial representa una fracción significativa de la demanda energética urbana, influenciada por el aumento de la densidad poblacional, la expansión de la construcción multifamiliar y la persistencia de tecnologías y prácticas de consumo ineficientes (IDEAM, PNUD & MADS, 2019). En este contexto, la Propiedad Horizontal (PH) se configura como una unidad organizativa clave para la gestión del consumo energético, los costos asociados y los comportamientos de uso en las ciudades.

El planteamiento del problema parte del reconocimiento de que las copropiedades en Bogotá enfrentan un incremento sostenido en el valor del kWh, una alta dependencia de fuentes energéticas de mayor costo y prácticas de consumo que tienden a ser ineficientes tanto en zonas comunes como en las unidades residenciales (CREG, 2022). Estas condiciones se ven agravadas por fenómenos climáticos como las sequías asociadas al Fenómeno de El Niño, que reducen la disponibilidad hidroeléctrica del país y aumentan la vulnerabilidad energética urbana. A ello se suman barreras organizacionales, presupuestales y culturales propias de la Propiedad Horizontal, que dificultan la adopción de tecnologías eficientes, el reemplazo oportuno de equipos y la implementación sostenida de prácticas de uso racional de la energía.

Desde el punto de vista normativo, Colombia cuenta con instrumentos orientados a promover la eficiencia energética en el sector residencial, entre los que se destacan el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) y el Reglamento Técnico de Etiquetado Energético (RETIQ). El PROURE establece metas y lineamientos sectoriales para el periodo 2022–2030, reconociendo brechas relevantes en el desempeño energético del sector residencial y la necesidad de fortalecer los mecanismos de seguimiento y despliegue efectivo en los usuarios finales (UPME, 2021). Por su parte, el RETIQ define exigencias técnicas de etiquetado para equipos de uso final con el objetivo de orientar las decisiones de compra e incentivar la adopción de tecnologías más eficientes (MME, 2021). Sin embargo, distintos análisis institucionales han evidenciado que la traducción de estos marcos regulatorios en acciones operativas dentro de la Propiedad Horizontal enfrenta limitaciones asociadas a la fiscalización, al seguimiento del consumo en fase de operación y a la apropiación del etiquetado energético por parte de los usuarios finales (UPME, 2021; SIC, 2022).

En este sentido, el problema no se limita a la existencia de tecnología eficiente o de regulación vigente, sino que se extiende a la ausencia de metodologías integrales que articulen de manera coherente los componentes técnicos, normativos, sociales y organizacionales, adaptadas a la

realidad operativa de la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C. A partir de esta problemática surge la pregunta de investigación que orienta el presente estudio: ¿cómo proponer una transición hacia la eficiencia energética para la Propiedad Horizontal en su fase de operación en Bogotá D.C.?

El objeto de estudio de esta investigación es la eficiencia energética en la fase de operación de la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C., abordada desde una perspectiva sociotécnica que integra consumo real, infraestructura instalada, comportamientos de uso y capacidad institucional. Su análisis se sustenta en evidencia empírica proveniente del sistema O3-SSPD, del Registro de Propiedad Horizontal y de una encuesta aplicada a residentes, lo que permite identificar patrones, barreras e interdependencias que estructuran la problemática energética en este tipo de organizaciones residenciales.

La pertinencia académica y científica del proyecto se fundamenta en su contribución al campo de la gestión ambiental y la transición energética urbana, al proponer una metodología aplicable a contextos residenciales colectivos. Desde una perspectiva teórica, el estudio articula marcos normativos nacionales como el PROURE y el RETIQ con estándares internacionales y enfoques sociotécnicos de transición energética (Geels, 2002; Sovacool, 2014). Desde una dimensión práctica, desarrolla una propuesta metodológica que responde a vacíos identificados en la gestión energética de la Propiedad Horizontal, alineada con experiencias y recomendaciones internacionales en eficiencia energética en edificaciones (Joint Research Centre, 2019; IEA, 2021).

La estructura del documento se organiza en cinco capítulos. El Capítulo 1 presenta el marco teórico y conceptual que sustenta la investigación. El Capítulo 2 desarrolla la metodología y los instrumentos de análisis. El Capítulo 3 expone la propuesta metodológica integral y el análisis de resultados. El Capítulo 4 presenta las conclusiones y líneas de trabajo futuro. Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas y los anexos que respaldan el proceso investigativo.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Proponer una metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a propiedad horizontal en Bogotá D.C.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar las principales fuentes de consumo energético y su impacto en la huella de carbono en la propiedad horizontal en su fase de operación en Bogotá D.C
- Analizar las teorías, prácticas, tecnologías y estrategias actuales de eficiencia energética aplicables a la propiedad horizontal en su fase de operación en Bogotá D.C.
- Evaluar el impacto potencial de las estrategias propuestas para la transición a la eficiencia energética en la propiedad horizontal en su fase de operación en Bogotá D.C.

### 3 Justificación

La mitigación de la huella de carbono y el uso racional y eficiente de la energía se han consolidado como prioridades globales ante los efectos del cambio climático y los retos asociados a la seguridad energética. En Colombia, esta necesidad es especialmente apremiante en el sector residencial, que representa una proporción significativa de la demanda energética urbana y cuyo crecimiento acelerado ejerce presión sobre los sistemas de energía y agua (IDEAM *et al.*, 2019). En este contexto surge la pregunta de investigación que orienta este trabajo: ¿Cómo proponer una transición hacia la eficiencia energética para la propiedad horizontal en su fase de operación en Bogotá D.C.?

La relevancia del proyecto se sustenta en varias dimensiones. En primer lugar, el sector residencial enfrenta un incremento sostenido en el valor del kWh, una fuerte dependencia de fuentes energéticas costosas y la persistente ineficiencia en los usos cotidianos en zonas comunes y unidades residenciales. Estas condiciones, agravadas por fenómenos climáticos como sequías prolongadas y la reducción de la capacidad hidroeléctrica, incrementan la vulnerabilidad energética de la ciudad (CREG, 2022). Sumado a ello, los conjuntos residenciales presentan barreras organizacionales, presupuestales y culturales que dificultan la implementación de tecnologías más limpias y prácticas eficientes.

En segundo lugar, este proyecto encuentra soporte en el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE), el cual establece metas nacionales de reducción del consumo, modernización tecnológica, fortalecimiento institucional y desarrollo de capacidades ciudadanas (MME, 2021). Sin embargo, el PROURE identifica que la Propiedad Horizontal (PH) es uno de los sectores con menor apropiación de estas metas debido a la ausencia de lineamientos específicos, baja disponibilidad de información consolidada y falta de metodologías adaptadas al funcionamiento comunitario de las copropiedades. Esto justifica la necesidad de una propuesta integral que transforme la operación energética a partir de una visión sociotécnica, participativa y económicamente viable.

En tercer lugar, la pertinencia empresarial y organizacional del proyecto es alta: las administraciones de PH buscan optimizar costos operativos, extender la vida útil de sus equipos, mejorar la transparencia hacia los residentes y cumplir regulaciones cada vez más exigentes. Una metodología integral contribuye a fortalecer la gobernanza energética, modernizar procesos internos y promover la corresponsabilidad ciudadana mediante educación, comunicación y acompañamiento técnico.

El valor teórico de esta investigación radica en integrar normativas nacionales (RETIE, RETIQ, PROURE, IPMVP) y estándares internacionales como ISO 50001, articuladas con evidencia empírica obtenida mediante análisis mixtos. Su relevancia práctica se refleja en el diseño de un modelo adaptable, replicable y alineado con las prioridades urbanas de Bogotá.

## METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA CON ENFOQUE SOCIOCONDUCTUAL APLICADA A LA PROPIEDAD HORIZONTAL EN BOGOTÁ D.C.

Finalmente, este estudio se enmarca en el Campo de Ciencia, Tecnología e Innovación, dentro del Grupo de Gestión Ambiental y la Línea de Metodologías e Instrumentos para la Gestión Ambiental, coherente con el propósito institucional de promover investigaciones que fortalezcan la sostenibilidad, la eficiencia energética y el bienestar territorial, especialmente en contextos organizacionales como la Propiedad Horizontal.

## 4 Marco teórico

El presente marco teórico desarrolla los fundamentos conceptuales, normativos y analíticos que sustentan la pregunta de investigación. Desde un enfoque deductivo, se integran teorías sociotécnicas, modelos organizacionales, hallazgos de la economía del comportamiento y marcos regulatorios nacionales e internacionales para comprender la complejidad del desempeño energético en edificaciones residenciales.

Este capítulo cumple la función de construir un panorama sobre las transformaciones energéticas, los retos del sector residencial y los factores que explican la brecha entre el deber ser normativo y las prácticas reales en la operación de conjuntos residenciales. La estructura se articula en torno a diez conceptos clave derivados del estado del arte: transición energética, eficiencia energética, propiedad horizontal, fuentes de consumo, huella de carbono, fase de operación, tecnologías, prácticas, estrategias y teorías relevantes.

El análisis aquí presentado se integra con la línea institucional Metodologías e Instrumentos para la Gestión Ambiental, al proponer una lectura multisistémica del comportamiento energético de las edificaciones, centrada en la interacción entre tecnología, organización y cultura.

### 4.1 Estado del arte

#### 4.1.1 *Transición energética*

La transición energética se refiere al proceso global de transformación de los sistemas de producción, distribución y consumo de energía, con el objetivo de reducir emisiones, mejorar la seguridad energética y promover economías bajas en carbono (IEA, 2021). Su origen conceptual se vincula con los trabajos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2022), que alertan sobre la necesidad de limitar el calentamiento global a 1.5°C mediante la reducción drástica del uso de combustibles fósiles.

En América Latina, la transición energética enfrenta desafíos estructurales: dependencia de hidrocarburos, brechas tecnológicas, sistemas tarifarios inestables y limitado financiamiento verde (Sovacool, 2016). En Colombia, pese a avances normativos como la Ley 1715 de 2014, la Ley 2099 de 2021 y el PROURE, la transición en el sector residencial avanza lentamente debido a barreras económicas, comportamentales y organizativas (MME, 2022).

Para ciudades densas como Bogotá, la transición requiere una mirada micro territorial que traslade los grandes lineamientos nacionales al nivel de operación de edificaciones y comunidades de vecinos.

En el ámbito de la propiedad horizontal (PH), la transición energética adquiere un carácter especialmente complejo, puesto que las decisiones dependen de la acción colectiva, de los modelos

de gobernanza interna y de la capacidad técnica y financiera de administraciones y residentes. Esto significa que el progreso no depende solo de la existencia de tecnologías eficientes, sino de la articulación entre normas, organización comunitaria y prácticas cotidianas que faciliten su adopción.

#### **4.1.2 Eficiencia energética**

La eficiencia energética se define como la capacidad de obtener el mismo servicio energético utilizando menos recursos (IEA, 2022). Representa uno de los pilares más costo-efectivos de la acción climática, dado que reduce emisiones, costos operativos y presiones sobre la infraestructura. Sin embargo, su implementación depende de múltiples condiciones: tecnológicas, culturales, financieras y regulatorias (Gillingham *et al.*, 2009).

Existen tres enfoques predominantes en la literatura: a. Enfoque técnico: prioriza tecnologías eficientes y mejoras en los sistemas (Pérez-Lombard *et al.*, 2008). b. Enfoque sociotécnico: resalta la interacción entre artefactos y prácticas sociales. Enfoque comportamental: explica el desempeño energético a partir de decisiones cotidianas, sesgos cognitivos y retroalimentación (Thaler & Sunstein, 2008).

En Colombia, el PROURE y la Política Nacional de Eficiencia Energética establecieron lineamientos generales, y la mayoría de los instrumentos han sido indicativos y no obligatorios. El RETIQ —mediante la Resolución 41012 de 2015— actuó directamente sobre la demanda al estandarizar la información energética en equipos, mientras que la Resolución 549 de 2015 introdujo requisitos mínimos de ahorro para nuevas edificaciones. No obstante, el país carece de normas obligatorias de diagnóstico, de estándares mínimos para el parque residencial existente y de una política específica para la PH. En consecuencia, las intervenciones han sido aisladas, centradas en recambios puntuales sin una estrategia integral de gestión energética a largo plazo.

La Figura 1 muestra el formato oficial de etiquetado energético en Colombia. Este facilita al usuario información sobre el consumo mensual estimado, la clasificación de eficiencia y las características técnicas del equipo, funcionando como una herramienta que impulsa decisiones informadas y actúa como punto de partida para la transición energética en hogares y comunidades residenciales.

**Figura 1. Etiquetado de electrodomésticos según RETIQ**



El análisis comparado de políticas internacionales muestra una tendencia clara: los países que lograron avances significativos en edificios multifamiliares articularon sus sistemas de etiquetado con financiamiento, auditorías y estructuras de gobernanza. En contraste, los contextos que limitaron sus políticas al etiquetado de productos sin acompañamiento técnico o mecanismos adaptados a la propiedad horizontal obtuvieron impactos marginales y concentrados en acciones fragmentadas. Estas lecciones son fundamentales para comprender por qué la eficiencia energética en Bogotá D.C. requiere intervenciones integrales que superen los recambios técnicos aislados y fortalezcan la gestión comunitaria y la toma colectiva de decisiones.

Tabla I. Matriz regulatoria comparada de eficiencia energética Latam

Región/Países	Plan/Marco de EE	Etiquetado energético	Alcance residencial/PH	Incentivos/financiación	Gobernanza y control	Evidencia/Resultados	Brechas/Retos
<b>UE (bloque)</b>	Directiva de Eficiencia Energética (EED, recast 2023/1791) + EPBD (edificios)	Reglamento 2017/1369 (reescala A–G) + Ecodesign	Metas nacionales; pasaportes de rehabilitación; estándares mínimos de rendimiento (propuestos/graduales)	Fondos UE/BEI, deducciones fiscales y subvenciones nacionales	Transposición nacional; vigilancia de mercado coordinada por Estados miembros	Ahorros acumulados en energía final; aumento de ventas de electrodomésticos	Ritmo de rehabilitación de edificios; heterogeneidad entre países
<b>Alemania</b>	Ley de Energía de Edificios (GEG) + KfW Programas	Certificados de eficiencia de edificios; etiqueta UE para productos	Rehabilitación profunda en multifamiliares; estándares de ‘Effizienzhaus’	Préstamos/blendos KfW, subsidios a fondo perdido	Municipios/estados; verificación técnica obligatoria	Alta tasa de modernización térmica en PH con cofinanciación	Cuellos de botella de mano de obra; costos de inversión
<b>Dinamarca</b>	Estrategia de Renovación a Largo Plazo; calefacción distrital	Certificados energéticos de edificios + etiqueta UE	Alto énfasis en envolvente y calefacción; cooperativas de vivienda	Tarifas e impuestos verdes; fondos para renovación	Municipal; estricta planificación térmica	Reducción sostenida de consumo por m <sup>2</sup>	Edificios patrimoniales difíciles de renovar

Tabla 1. Matriz regulatoria comparada de eficiencia energética Latam

Región/Países	Plan/Marco de EE	Etiquetado energético	Alcance residencial/PH	Incentivos/financiación	Gobernanza y control	Evidencia/Resultados	Brechas/Retos
<b>España</b>	PNIEC + Plan de Rehabilitación (NextGenEU)	Certificado de eficiencia de edificios + etiqueta UE	Programas específicos para comunidades de propietarios	Subvenciones NextGenEU; deducciones IRPF	CCAA gestionan convocatorias; IDAE coordina	Alza de rehabilitaciones en PH 2021–2024	Tramitología y capacidad técnica local
<b>Colombia</b>	PROURE + Política Nacional de EE + PEN 2050	RETIQ (Res. 41012/2015) obligatorio para equipos	Foco en zonas comunes; etiquetado en compras domésticas	Ley 1715/2014 (beneficios tributarios) y programas locales	MME/UPME; SIC y autoridades de metrología	Mayor penetración de equipos eficientes en categorías etiquetadas	Articulación con PH; financiamiento y campañas conductuales
<b>Chile</b>	Ley de Eficiencia Energética (2021) + Planes sectoriales	Etiqueta SEC obligatoria para múltiples productos	Normas térmicas; programas de aislamiento en vivienda social	Subsidios de rehabilitación; créditos verdes	Ministerio de Energía/SEC; fiscalización robusta	Mejora del stock térmico y recambio de equipos	Escalar rehabilitación en multifamiliares privados
<b>Uruguay</b>	Plan Nacional de EE; Decreto de Gestión de la Demanda	Etiqueta obligatoria (MIEM/UTE/UNIT)	Programas de recambio y auditorías; cooperativas de vivienda	Tarifas eficientes; líneas BROU/UTE	MIEM/UTE; normalización UNIT	Alto cumplimiento en etiquetado y recambio	Profundizar metas en edificios existentes

Tabla 1. Matriz regulatoria comparada de eficiencia energética Latam

Región/Países	Plan/Marco de EE	Etiquetas energéticas	Alcance residencial/PH	Incentivos/financiación	Gobernanza y control	Evidencia/Resultados	Brechas/Retos
		principales categorías					
<b>Brasil</b>	PROCEL/PN ME; metas en sector eléctrico	PBE (INMETRO) para electrodomésticos y edificios	Sello Procel Edificios para residenciales	Programas de distribuidoras; financiamiento BNDES	INMETRO/EPE/ANEEL	Amplia cobertura etiquetado; impacto ventas	Heterogeneidad regional; informalidad constructiva
<b>México</b>	Estrategia de Transición y Sustentabilidad Energética; PRONASE	NOMs CONUEE + Sello FIDE (voluntario)	Normas para equipos; programas de sustitución	Créditos Infonavit verdes; programas estatales	CONUEE/PROFECO; ECO; verificación NOM	Recambio masivo de iluminación y refrigeración	Rehabilitación integral de edificios multifamiliares

Nota. elaboración propia con información de Parlamento Europeo y Consejo (2018); Comisión Europea (EPBD/EED; Reglamento (UE) 2017/1369; Ecodesign); IDAE (2021); BOE (2021); BMWK y KfW (s. f.); IEA (2022); Energistyrelsen–Agencia Danesa de Energía (s. f.); MME Colombia (2015, 2022); MVCT (2015); UPME (PEN 2020–2050; PROURE; s. f.); Ministerio de Energía de Chile (2021); MIEM/UTE/UNIT–Uruguay (2020); INMETRO/Procel/EPE/ANEEL–Brasil (2023); CONUEE/PROFECO/FIDE–México (2018–s. f.); Secretaría de Energía e IRAM–Argentina (2017); BID (2020); CEPAL (2022).

La tabla comparativa está estructurada como una cadena lógica de política pública que permite evaluar la coherencia de las estrategias nacionales de eficiencia energética. Esta cadena articula los elementos centrales de un ecosistema regulatorio eficaz, desde la existencia de un marco nacional y un sistema de etiquetado, hasta su aplicación en el sector residencial y la propiedad horizontal, el acceso a incentivos financieros, los mecanismos de gobernanza y control, y finalmente la evidencia de resultados y las brechas persistentes.

Los países que lograron avances rápidos —particularmente en Europa— mostraron una alineación consistente entre estos componentes: combinaron normas de eficiencia para edificios, programas de rehabilitación apoyados por banca pública y sistemas robustos de verificación. Como consecuencia, las comunidades de propietarios pudieron implementar mejoras profundas con impactos sostenidos en consumo y emisiones.

En contraste, cuando las políticas se enfocaron únicamente en el etiquetado de productos, sin financiamiento asociado, sin asistencia técnica y sin mecanismos adaptados a la propiedad horizontal, los progresos se limitaron a recambios aislados que no transformaron de manera estructural el parque de viviendas. Esta diferencia evidencia que el etiquetado energético, aunque fundamental, solo alcanza su potencial cuando se articula con instrumentos financieros, arreglos de gobernanza y programas de rehabilitación integral.

Adicionalmente, para facilitar la lectura de la tabla se incluyen los términos clave del sector, como las directivas europeas sobre edificios (EPBD/EED [Comisión Europea, 2017]), los estándares alemanes de eficiencia para edificaciones (Effizienzhaus [KfW, s. f.a]) y los principales programas de rehabilitación energética en países como España (PREE) o Brasil (PBE/Procel), además del etiquetado obligatorio vigente en Colombia bajo el RETIQ.

Desde este marco de política pública y regulación energética, resulta necesario descender al nivel organizacional para analizar cómo estos instrumentos normativos se traducen —o no— en decisiones concretas dentro de la Propiedad Horizontal. La efectividad de las estrategias de eficiencia energética no depende únicamente de su diseño regulatorio, sino de la forma en que los actores involucrados interpretan, gestionan y priorizan dichas disposiciones en la fase de operación del edificio.

En este nivel de análisis, la eficiencia energética en la Propiedad Horizontal exige comprender las dinámicas de toma de decisiones, los conflictos de interés y las capacidades reales de gestión que se generan entre administradores, consejos de administración y residentes. Estos elementos explican por qué, en ausencia de mecanismos organizacionales claros, las políticas y estándares técnicos tienden a materializarse en acciones fragmentadas o de corto alcance, limitadas al recambio tecnológico puntual.

En este contexto, la contribución práctica de este trabajo para las administraciones de Propiedad Horizontal consiste en ofrecer una metodología de gestión que permite operacionalizar la regulación energética en la fase de operación del edificio. La propuesta brinda herramientas para diagnosticar el desempeño energético real, identificar brechas técnicas y organizacionales, priorizar medidas de bajo costo y alto impacto, y estructurar un Plan de Ahorro Energético para Propiedad Horizontal (PAE-PH) alineado con principios de la ISO 50001. De este modo, la metodología facilita la toma de decisiones colectivas informadas, fortalece la gobernanza energética comunitaria y mejora la sostenibilidad de las acciones implementadas, constituyéndose en una herramienta aplicable y replicable para las administraciones de Propiedad Horizontal en Bogotá D.C., orientada a la toma de decisiones en la fase de operación.

#### ***4.1.3 Propiedad horizontal***

La propiedad horizontal constituye un modelo organizacional complejo donde coexisten intereses individuales y decisiones colectivas. Su estructura está definida por la Ley 675 de 2001, que regula la administración, financiamiento y operación de zonas comunes.

Su gobernanza incluye tres niveles: asambleas de copropietarios, consejo de administración, administración y órganos de control. Las investigaciones sobre gestión energética en PH son escasas. La toma de decisiones está influida por factores sociopolíticos internos, percepción de costos y nivel de confianza en la administración. Esto genera dinámicas reactivas, inversiones aisladas y baja planificación energética.

Desde la perspectiva de la teoría de la agencia, estas dinámicas pueden interpretarse como el resultado de relaciones en las que los copropietarios actúan como principales y delegan la gestión operativa y administrativa en agentes, tales como administradores, consejos de administración o proveedores externos. De acuerdo con Jensen y Meckling (1976), cuando existen asimetrías de información y los incentivos entre principales y agentes no están alineados, las decisiones adoptadas tienden a priorizar objetivos de corto plazo o a minimizar riesgos individuales, aun cuando ello no maximice el beneficio colectivo.

En el contexto de la Propiedad Horizontal, esta relación se manifiesta en la dificultad para aprobar inversiones en eficiencia energética, la preferencia por soluciones correctivas inmediatas y la limitada adopción de estrategias de largo plazo basadas en información técnica y datos de desempeño energético. La falta de información clara sobre costos, beneficios y retornos esperados refuerza la percepción de riesgo entre los copropietarios, mientras que los agentes encargados de la gestión pueden carecer de incentivos para promover transformaciones que impliquen mayor complejidad operativa o responsabilidades adicionales (Eisenhardt, 1989).

En este sentido, la teoría de la agencia permite comprender las limitaciones organizacionales y decisionales que afectan la gestión energética en la Propiedad Horizontal y refuerza la necesidad de enfoques metodológicos que integren mecanismos de alineación de incentivos, reducción de asimetrías de información y fortalecimiento de la toma de decisiones colectivas.

Estas condiciones estructurales explican por qué, aun en contextos donde existen tecnologías eficientes, marcos normativos favorables e instrumentos de política pública, la gestión energética en la fase de operación de la Propiedad Horizontal continúa enfrentando barreras estructurales que limitan la implementación sostenida de medidas de eficiencia energética.

La literatura coincide en que la PH no debe entenderse solo como un arreglo legal, sino como un entramado sociotécnico que integra infraestructuras, actores, normas y relaciones. Ostrom (2015) aporta el enfoque de bienes comunes; Latour (2005) subraya que la infraestructura condiciona las posibilidades de acción; y Webster et al. (2003) señalan que, cuando la gobernanza se centra únicamente en “mantener lo básico funcionando”, la innovación se estanca. Estos enfoques evidencian que las barreras en PH son tanto técnicas como institucionales y sociales.

Desde la perspectiva de los modelos organizacionales, la Propiedad Horizontal puede entenderse como una organización de carácter híbrido, caracterizada por estructuras formales definidas normativamente y dinámicas informales derivadas de la interacción comunitaria. A diferencia de organizaciones jerárquicas tradicionales, las PH operan mediante esquemas de gobernanza colegiada, en los que la toma de decisiones depende de procesos deliberativos, votaciones y consensos entre actores con intereses, niveles de información y horizontes temporales heterogéneos.

La literatura sobre cambio organizacional señala que este tipo de estructuras tiende a privilegiar la estabilidad operativa y la continuidad de los servicios básicos, lo que puede generar resistencia a la adopción de innovaciones que impliquen inversiones iniciales, cambios en rutinas o redistribución de responsabilidades (Kotter, 1996; Hiatt, 2006). En el caso de la eficiencia energética, esta resistencia se manifiesta en la priorización del mantenimiento correctivo sobre la planificación estratégica, así como en la fragmentación de las decisiones relacionadas con consumo, operación y financiamiento.

Asimismo, los modelos organizacionales aplicados a entornos comunitarios destacan que la ausencia de roles claramente definidos en materia de gestión energética, junto con la falta de indicadores de desempeño y mecanismos formales de seguimiento, limita la capacidad de las PH para sostener procesos de mejora continua. En este contexto, la eficiencia energética deja de ser un objetivo organizacional explícito y se convierte en una acción

reactiva, dependiente de contingencias técnicas o presiones externas, más que de una estrategia institucionalizada.

En conjunto, estos enfoques organizacionales refuerzan la necesidad de metodologías integrales que no se limiten a incorporar soluciones tecnológicas, sino que estructuren procesos de decisión, asignación de responsabilidades, seguimiento y gobernanza, adaptados a la lógica operativa de la Propiedad Horizontal en su fase de operación.

A partir de este análisis organizacional y sociotécnico, resulta necesario caracterizar los componentes técnicos que materializan el consumo energético en la Propiedad Horizontal. La identificación de las fuentes de consumo permite comprender cómo las dinámicas de decisión, operación y gestión se traducen en patrones concretos de demanda energética durante la fase de operación.

#### ***4.1.4 Fuentes de consumo energético en PH***

Desde una perspectiva organizacional y sociotécnica, las dinámicas de decisión y gobernanza descritas en la Propiedad Horizontal se materializan en patrones concretos de consumo energético asociados a los sistemas comunes del edificio. Comprender cuáles son estas fuentes de consumo y cómo operan en la fase de operación resulta fundamental para traducir los marcos teóricos y organizacionales en diagnósticos técnicos accionables.

Las edificaciones residenciales consumen energía a través de sistemas como: iluminación de zonas comunes, ascensores, bombeo de agua, motores, ventilación, seguridad electrónica, cuartos de máquinas, entre otros.

Los conjuntos de estratos 3 y 4, predominantes en Bogotá, presentan consumos medios entre 5.000 y 20.000 kWh/mes (SSPD, s. f.). La literatura técnica coincide en que los mayores consumos se concentran en ascensores y bombeo (Sartori et al., 2018). No obstante, el impacto de los hábitos de operación y mantenimiento, condicionados por las decisiones organizacionales y las capacidades técnicas disponibles, es igualmente relevante.

Un patrón ampliamente documentado en la literatura científica es que la obsolescencia tecnológica de los sistemas de iluminación, bombeo y ventilación, junto con la ausencia de mediciones desagregadas, limita significativamente la capacidad de gestión eficiente del consumo energético en edificios residenciales y multifamiliares. Estudios como los de Pérez-Lombard et al. (2008) y de Sonderegger (2018) destacan que, sin submedición y sin renovación tecnológica, las comunidades carecen de información confiable para priorizar intervenciones, estimar ahorros o implementar estrategias de eficiencia energética basadas en evidencia. En el contexto europeo, se ha identificado que los edificios multifamiliares concentran una proporción significativa de su consumo eléctrico en los servicios comunes,

principalmente asociados a la operación continua de sistemas de iluminación y bombeo, los cuales pueden representar entre el 40 % y el 60 % del consumo total (Jouhara et al., 2018). A partir de esta evidencia, la literatura especializada coincide en que la identificación precisa de las fuentes de consumo constituye el punto de partida de cualquier estrategia de eficiencia energética efectiva.

En Colombia, Meza et al. (2021) advierten que la ausencia de datos desagregados limita la capacidad de demostrar el potencial de ahorro, lo que dificulta obtener financiación y perpetúa la incertidumbre. Esta situación refuerza la necesidad de metodologías que prioricen el diagnóstico del consumo en la fase de operación como base para la toma de decisiones informadas en la propiedad horizontal.

Este escenario es consistente con la literatura internacional sobre *barriers to energy retrofits* en edificaciones residenciales, la cual ha demostrado que la falta de información confiable, las restricciones financieras, los problemas de coordinación entre actores y las debilidades en los esquemas de gobernanza constituyen barreras estructurales para la implementación de medidas de eficiencia energética en edificios existentes. Estudios publicados en revistas especializadas como *Building and Environment* y *Energy Policy* evidencian que, aun cuando existen tecnologías eficientes y marcos regulatorios favorables, la ausencia de diagnósticos energéticos sólidos y de mecanismos organizacionales adecuados limita la adopción sostenida de estrategias de eficiencia en contextos de propiedad colectiva (Gillingham et al., 2009; Wilson et al., 2015; Palm & Reindl, 2018).

En el contexto latinoamericano y colombiano, diversos estudios académicos y técnicos coinciden en la existencia de barreras similares. Investigaciones desarrolladas en Colombia señalan que, en edificaciones residenciales multifamiliares, la ausencia de sistemas de medición desagregada, la limitada capacidad técnica de las administraciones y la fragmentación de la toma de decisiones dificultan la formulación de planes de eficiencia energética basados en evidencia (UPME, 2020; BID, 2020). Adicionalmente, análisis regionales del Banco Interamericano de Desarrollo y la CEPAL destacan que, en esquemas de propiedad colectiva, las barreras institucionales, la baja alfabetización energética de los usuarios y la falta de mecanismos financieros adaptados a comunidades residenciales restringen la viabilidad de intervenciones de eficiencia en la fase de operación, aun cuando existan marcos normativos favorables (BID, 2020; CEPAL, 2022). Estos hallazgos refuerzan la pertinencia de desarrollar metodologías específicas para la Propiedad Horizontal que integren diagnóstico técnico, gobernanza organizacional y mecanismos de toma de decisiones informadas.

#### **4.1.5 Huella de carbono en el sector residencial**

La huella de carbono mide la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a un servicio o actividad<sup>1</sup>. En edificios, las emisiones operativas suelen superar las emisiones por construcción durante la vida útil del inmueble (UPME, 2020). En Colombia, el sector residencial representa aproximadamente el 16% de las emisiones energéticas (IDEAM, 2022). Los conjuntos residenciales en PH tienen una huella significativa debido al uso constante de equipos eléctricos, especialmente ascensores y motores de bombeo. La reducción de la huella implica mejoras en eficiencia, electrificación, prácticas de uso y gobernanza comunitaria.

A nivel internacional, políticas como la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE y la Directiva 2018/844/UE han integrado la medición de emisiones dentro de los programas de renovación de edificios, articulando incentivos económicos con metas obligatorias de reducción. Países como España y Alemania condicionan parte de sus ayudas a reducciones verificadas de CO<sub>2</sub>e, lo que ha acelerado la modernización del parque residencial. En América Latina, los avances han sido menos uniformes; Chile cuenta con un programa formal de reporte voluntario, mientras que Brasil, Uruguay y México han incorporado la huella de carbono dentro de esquemas de eficiencia energética, aunque con adopción limitada. En Colombia, la Estrategia Nacional de Cambio Climático proporciona lineamientos generales, pero no existe obligación de medición en la propiedad horizontal. Pese a las metodologías divulgadas por el IDEAM y la UPME, su aplicación en comunidades residenciales continúa siendo reducida, principalmente por barreras técnicas y financieras.

Desde la literatura, el IPCC enfatiza que medir emisiones es indispensable para diseñar políticas de mitigación y para evaluar la efectividad de intervenciones en el tiempo. Sin embargo, Sovacool advierte que la cuantificación aislada no garantiza cambios reales si no se acompaña de mecanismos para implementar mejoras y superar barreras financieras o institucionales. Estudios como los de Meza *et al.* (2021) señalan que, en el contexto comunitario de la propiedad horizontal, esta medición solo genera impacto cuando se vincula con procesos de sensibilización, participación y toma de decisiones colectivas. En otras palabras, sin gobernanza y sin apropiación social, la medición se convierte en un simple reporte técnico. Stern refuerza esta idea al indicar que los cambios sostenibles requieren transformaciones culturales y organizativas, no solo diagnósticos numéricos.

---

<sup>1</sup> <https://ghgprotocol.org>

La evidencia muestra que los obstáculos en PH combinan limitaciones técnicas —como la ausencia de medición y monitoreo— con restricciones económicas relacionadas con los costos de implementación y la falta de mecanismos financieros adaptados a comunidades. A esto se suman barreras sociales, como la percepción limitada de su importancia y la confusión frecuente entre consumo energético y emisiones, así como vacíos institucionales derivados de la ausencia de obligaciones normativas y de incentivos para la gestión comunitaria de emisiones.

#### ***4.1.6 Fase de operación en propiedad horizontal (PH)***

La fase de operación corresponde al período en el cual el edificio se encuentra en uso y demanda servicios energéticos para su funcionamiento. Esta etapa es determinante, ya que el desempeño energético real de una edificación no depende únicamente de las decisiones de diseño, sino, en gran medida, del comportamiento de los ocupantes y de las prácticas operativas que se adoptan durante su uso cotidiano. Diversos estudios han demostrado que las decisiones relacionadas con la iluminación, la ventilación, el uso de equipos y los ajustes operativos pueden generar variaciones sustanciales en el consumo energético observado frente al desempeño previsto en fase de diseño (O'Brien & Gunay, 2014).

Desde una perspectiva de ciclo de vida, la fase de operación constituye el período más extenso y de mayor impacto energético en una edificación. De acuerdo con la norma ISO 15686-5:2017 y con los lineamientos del Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment, LCA), esta etapa puede concentrar entre el 70 % y el 90 % del consumo energético total del edificio, así como la mayor proporción de las emisiones asociadas a su funcionamiento cotidiano. Esta condición ha llevado a que, en el ámbito internacional, la gestión energética durante la operación sea reconocida como un componente crítico de las políticas de eficiencia energética.

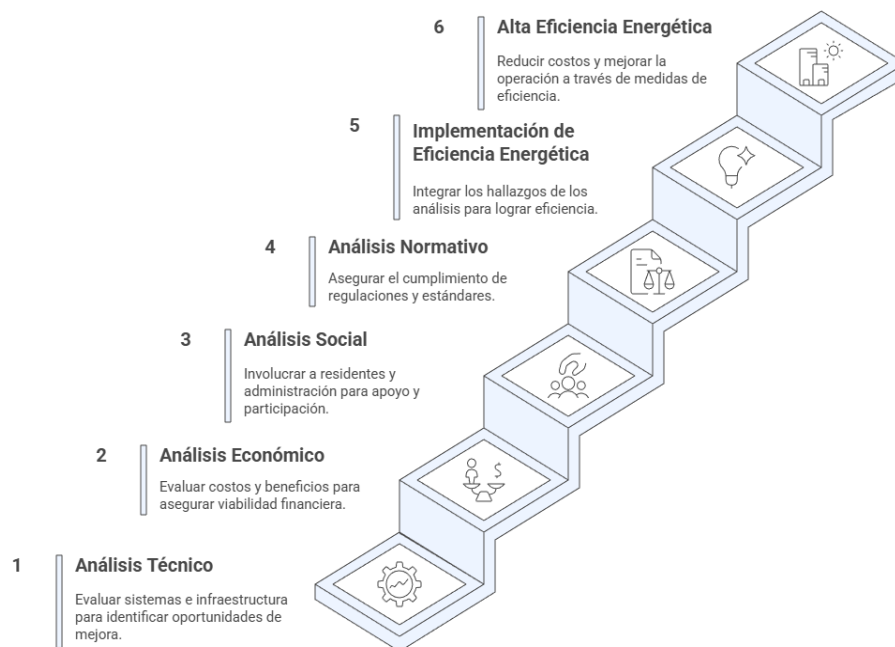
En este contexto, la Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) ha consolidado la fase de operación como un ámbito regulado de la eficiencia energética. Países como Alemania y España vinculan los incentivos públicos no solo al diseño o la rehabilitación, sino a la demostración de ahorros verificables durante la operación, mediante auditorías periódicas, sistemas de monitoreo y criterios de desempeño. Este enfoque ha permitido asegurar que los beneficios energéticos proyectados se mantengan en el tiempo y que las decisiones operativas se basen en información verificable.

Sin embargo, al trasladar estos principios al contexto colombiano, se evidencian brechas significativas. En Bogotá, la fase de operación en la Propiedad Horizontal enfrenta limitaciones estructurales como esquemas de mantenimiento predominantemente reactivos, ausencia de inventarios energéticos, limitada formación técnica en las administraciones, toma de decisiones basada en la percepción más que en datos y descoordinación entre

residentes, administradores y proveedores de **servicios**. Aunque la Resolución 40247 de 2021 establece lineamientos generales en materia de eficiencia energética, no existe un marco regulatorio específico orientado a la gestión energética en la fase de operación de la Propiedad Horizontal.

Como consecuencia, la gestión energética en este tipo de edificaciones depende en gran medida de las capacidades institucionales de las administraciones y de la voluntad de los copropietarios, lo que deriva en intervenciones reactivas y de corto plazo, enfocadas en resolver fallas inmediatas, en lugar de integrarse a planes energéticos estratégicos que consideren el comportamiento real del consumo durante la vida útil del edificio.

**Figura 2. Secuencia metodológica para fortalecer la gestión energética durante la fase de operación en propiedad horizontal**



**Fuente:** Elaboración propia con base en ISO 15686, ISO 50001 (2018), Meza *et al.* (2021), Vázquez-Canteli *et al.* (2019) y UPME (2020).

#### **4.1.7 Tecnologías en eficiencia energética**

Las tecnologías en eficiencia energética comprenden los dispositivos, sistemas y soluciones técnicas orientadas a optimizar el uso de la energía manteniendo o mejorando el nivel de servicio. En el contexto de la Propiedad Horizontal, estas tecnologías se concentran principalmente en los sistemas que dominan el consumo de las zonas comunes, entre ellos la iluminación, los ascensores, el bombeo y los motores eléctricos. Dentro de este conjunto

se destacan la iluminación LED, los sensores de presencia, los ascensores regenerativos, los variadores de velocidad, los motores de alta eficiencia, los sistemas de gestión energética (EMS), la telemetría y la medición inteligente.

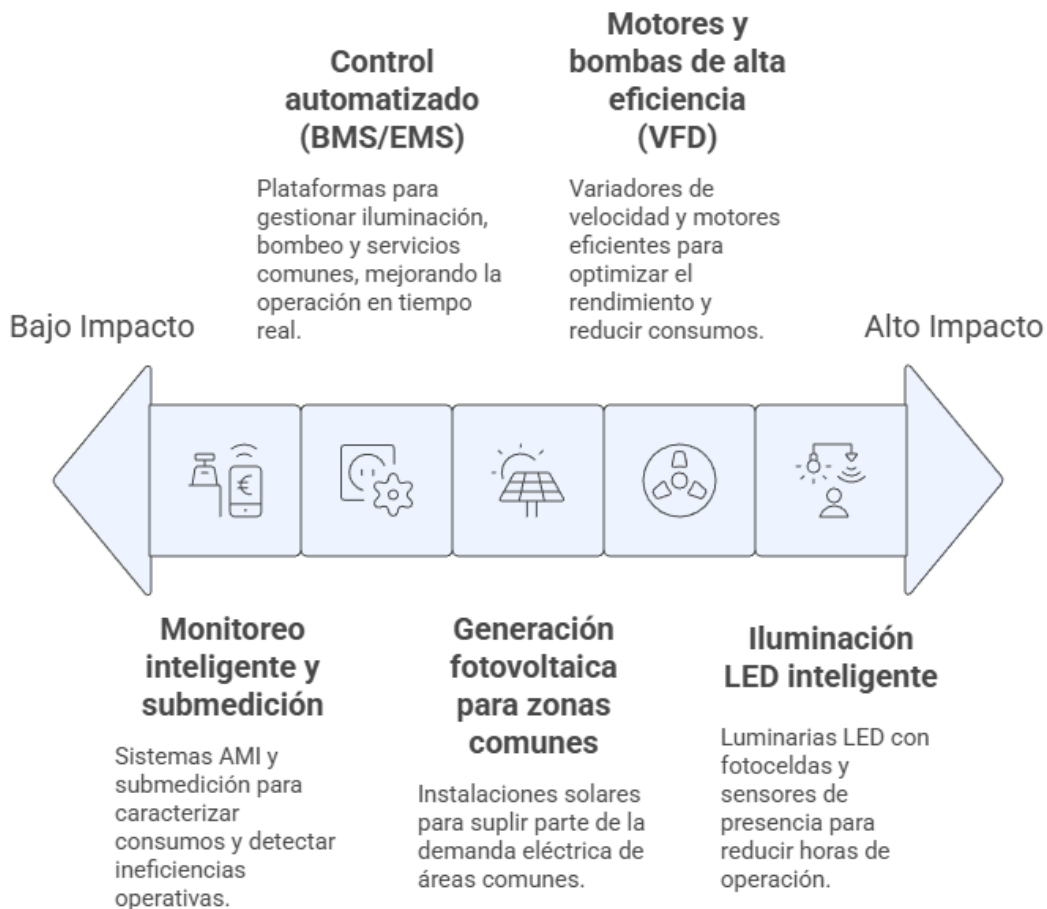
La evidencia científica muestra que la incorporación de estas tecnologías, cuando se implementa de manera integrada, puede generar reducciones de consumo energético entre el 20 % y el 60 %, dependiendo del nivel de obsolescencia previa de los equipos y del grado de integración tecnológica alcanzado (Pérez-Lombard et al., 2011). No obstante, en el ámbito de la Propiedad Horizontal su adopción suele verse limitada por barreras recurrentes, como el alto costo inicial, el riesgo percibido por las comunidades, la existencia de infraestructura obsoleta, la ausencia de esquemas de financiamiento colectivo y la limitada disponibilidad de información técnica para sustentar la toma de decisiones.

Experiencias internacionales, como el programa KfW Energy-Efficient Refurbishment en Alemania y el Programa de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE) en España, evidencian que la implementación simultánea de tecnologías eficientes —incluyendo luminarias LED, variadores de velocidad, bombas de alta eficiencia, sistemas BMS/EMS, automatización y generación solar fotovoltaica— permite reducir el consumo energético en edificios multifamiliares entre un 30 % y un 50 % en horizontes de cinco a diez años (IEA, 2022; IDAE, 2021). Estos resultados han sido posibles gracias a la articulación entre financiamiento blando, asistencia técnica especializada, exigencias normativas claras y auditorías posteriores a la implementación que garantizan la persistencia de los ahorros.

En el contexto de Bogotá, la incorporación de tecnologías eficientes constituye un componente clave para la reducción del consumo energético y de los costos operativos en la fase de operación de la Propiedad Horizontal. Sin embargo, su efectividad depende de la realización de diagnósticos técnicos rigurosos, de la existencia de mecanismos de financiamiento adecuados para comunidades residenciales, de procesos de capacitación y de la implementación de protocolos de operación y mantenimiento, apoyados en esquemas de gobernanza participativa.

La Figura 3 presenta una clasificación de las tecnologías de eficiencia energética según su impacto potencial en la reducción del consumo eléctrico en la Propiedad Horizontal, con el fin de apoyar la toma de decisiones en la fase de operación. La figura distingue entre tecnologías orientadas al monitoreo y control de la operación, que habilitan la gestión energética, y aquellas que generan reducciones directas del consumo, asociadas al recambio o mejora de sistemas energéticamente intensivos. De este modo, constituye una herramienta analítica para priorizar intervenciones dentro de la metodología propuesta, especialmente en contextos con restricciones presupuestales y organizacionales propias de la Propiedad Horizontal.

**Figura 3. Clasificación de tecnologías de eficiencia energética según su impacto potencial en la reducción del consumo eléctrico en propiedad horizontal (PH)**



**Fuente:** Elaboración propia, basada en literatura técnica internacional (IEA, IDAE, UPME) y en el análisis del estudio.

La comparación del impacto potencial de distintas tecnologías de eficiencia energética aplicables a la Propiedad Horizontal se fundamenta en la evidencia reportada por programas internacionales de rehabilitación de edificios multifamiliares (IEA, 2022; IDAE, 2021) y en su pertinencia para contextos residenciales colectivos.

Las tecnologías de bajo impacto agrupan soluciones cuyo beneficio energético depende principalmente del uso, la operación y la gestión, como la submedición, el monitoreo y los sistemas de información. Estas intervenciones cumplen un rol habilitador al permitir identificar ineficiencias, mejorar la trazabilidad del consumo y apoyar la toma de decisiones, pero no generan por sí mismas reducciones sustantivas del consumo energético. En contraste, las tecnologías de **alto impacto** corresponden a intervenciones que producen

reducciones directas y significativas del consumo eléctrico, asociadas al recambio o mejora de sistemas energéticamente intensivos, como la iluminación LED inteligente y los motores y bombas de alta eficiencia.

Este enfoque analítico permite priorizar intervenciones dentro de la metodología propuesta, facilitando la definición de rutas de acción progresivas que articulen medidas de gestión y monitoreo con acciones de impacto directo, de acuerdo con las restricciones técnicas, presupuestales y organizacionales propias de la Propiedad Horizontal.

#### **4.1.8 Prácticas en eficiencia energética**

Las prácticas cotidianas de operación, mantenimiento y uso determinan una parte significativa del consumo. Stern (2000) demuestra que el comportamiento energético depende de normas sociales, percepciones de control y calidad de la retroalimentación informativa.

Estas acciones, descritas por Stern como medidas de bajo costo altamente dependientes del comportamiento humano, incluyen el apagado sistemático de equipos en horarios no operativos, el uso racional de ascensores, la programación de iluminación con sensores y la adopción de protocolos para la operación de zonas comunes. Desde la economía del comportamiento, Thaler y Sunstein explican que muchas de estas prácticas funcionan como *nudges*, al modificar decisiones cotidianas mediante ajustes simples en la arquitectura de elección que facilitan comportamientos eficientes sin imponer restricciones.

La literatura coincide en que las intervenciones puramente tecnológicas no logran ahorros sostenidos si no van acompañadas de transformaciones culturales y modelos de participación comunitaria.

En el contexto de propiedad horizontal (PH), estas prácticas adquieren una dimensión colectiva: dependen de reglas internas, cohesión comunitaria y capacidad administrativa. La inclusión del etiquetado energético —especialmente el RETIQ en Colombia— en manuales operativos y decisiones de reposición corrige asimetrías de información y orienta compras hacia alternativas eficientes, convirtiéndose simultáneamente en un mecanismo de control institucional y en un catalizador de acuerdos colectivos.

A nivel internacional, países como Dinamarca, Japón y diversas comunidades europeas han logrado reducciones sostenidas del 5% al 15% mediante la institucionalización de prácticas simples reforzadas con retroalimentación continua, campañas permanentes y monitoreo del consumo. La evidencia muestra que estas prácticas funcionan cuando son periódicas, visibles y socialmente reforzadas; no cuando se limitan a intervenciones aisladas. En

contraste, en Colombia las iniciativas suelen depender exclusivamente del interés de administradores o comités temporales, por lo que sus efectos se diluyen con rapidez.

**Tabla 2. Barreras que limitan la sostenibilidad de las prácticas de eficiencia energética en propiedad horizontal (PH)**

<b>Dimensión</b>	<b>Barreras principales</b>	<b>Implicaciones en PH</b>
<b>Culturales</b>	Resistencia a modificar hábitos; percepción limitada del impacto individual.	Dificulta la adopción sostenida de hábitos de ahorro.
<b>Sociales</b>	Baja cohesión comunitaria; ausencia de liderazgos energéticos.	Reduce la continuidad de iniciativas colectivas.
<b>Organizativas</b>	Reglamentos internos insuficientes; procesos de decisión lentos; ausencia de protocolos.	Las prácticas no se institucionalizan y dependen de voluntades temporales.
<b>Técnicas</b>	Ausencia de medición y monitoreo; incapacidad de cuantificar el impacto.	Baja motivación para mantener prácticas por falta de evidencia.

En Bogotá D.C., estas acciones representan un componente esencial para asegurar que los ahorros derivados de tecnologías eficientes se conviertan en resultados sostenidos. Sin hábitos de uso adecuados, operación consciente y mecanismos de retroalimentación, incluso las inversiones más avanzadas pierden eficacia con el tiempo.

#### **4.1.9 Estrategias en eficiencia energética**

Las estrategias de eficiencia energética corresponden a planes integrales orientados a optimizar el uso de energía mediante la articulación de medidas técnicas, organizativas, económicas y sociales. De acuerdo con el *Energy Efficiency Policy Framework* de la International Energy Agency, estas estrategias requieren objetivos claros, mecanismos de implementación, indicadores verificables y sistemas de seguimiento que permitan ajustes iterativos en el tiempo.

Las estrategias globales se organizan en tres grupos:

- Estrategias técnicas: recambios eficientes, auditorías energéticas, sensorización.
- Estrategias financieras: incentivos, créditos, modelos ESCO, financiamiento verde.
- Estrategias socio comportamentales: nudges, retroalimentación continua, participación comunitaria.

A nivel internacional, experiencias como el programa KfW en Alemania o *Energibyerne* en Dinamarca demuestran que la combinación de auditorías obligatorias, financiamiento subsidiado, acompañamiento técnico y procesos participativos logra reducciones sostenidas de consumo energético. Estudios como los de Gillingham y colegas evidencian que la ausencia de incentivos, seguimiento y acompañamiento conductual limita el impacto real de las medidas, mientras que investigaciones latinoamericanas muestran que incluso acciones parciales pueden volverse sostenibles cuando se integran con fortalecimiento institucional y educación comunitaria. Desde la teoría de la acción colectiva, Ostrom sostiene que cualquier estrategia en entornos comunitarios debe contemplar reglas formales e informales, mecanismos de monitoreo y resolución de conflictos, dado que la eficiencia energética depende de la coordinación entre múltiples actores; ignorar estas dinámicas conduce a soluciones técnicamente viables, pero socialmente inoperantes.

**Tabla 3. Factores condicionantes para la eficiencia energética en propiedad horizontal (PH)**

<b>Característica</b>	<b>Barreras principales</b>	<b>Ejemplos en PH</b>	<b>Impacto en la estrategia</b>	<b>Nivel de criticidad</b>
<b>Técnicos</b>	Conocimiento limitado; falta de diagnósticos; ausencia de sistemas de submedición	Sistemas obsoletos; inexistencia de medición avanzada (AMI)	Viabilidad técnica; calidad del diseño y priorización	Medio
<b>Económicos</b>	Altos costos iniciales; capacidad de pago heterogénea	Incentivos insuficientes; dificultad para créditos o pagos colectivos	Viabilidad financiera; retorno de inversión	Alto
<b>Sociales</b>	Falta de confianza; baja participación; conflictos internos	Poco compromiso comunitario; desacuerdos en asambleas	Aceptación de partes interesadas; cohesión comunitaria	Medio
<b>Institucionales</b>	Reglamentos débiles; procesos de decisión lentos	Cumplimiento limitado del RETIQ; falta de normativas específicas	Marco regulatorio y gobernanza interna	Alto

<b>Característica</b>	<b>Barreras principales</b>	<b>Ejemplos en PH</b>	<b>Impacto en la estrategia</b>	<b>Nivel de criticidad</b>
<b>Culturales</b>	Resistencia al cambio; baja priorización del tema energético	Hábitos arraigados; percepción limitada de beneficios	Adopción y sostenibilidad a largo plazo	Bajo

**Nota.** Elaboración propia. La tabla sintetiza los factores condicionantes identificados en la literatura especializada y su manifestación en la propiedad horizontal de Bogotá, permitiendo valorar su criticidad e impacto en la estrategia de eficiencia energética.

#### **4.1.10 Teorías relevantes para la eficiencia energética**

Estas teorías permiten interpretar por qué algunas medidas funcionan, por qué otras encuentran resistencia y cómo se pueden estructurar intervenciones adaptadas al contexto comunitario. La siguiente tabla sintetiza las teorías más relevantes para este trabajo.

**Tabla 4. Teorías relevantes aplicadas a la eficiencia energética en propiedad horizontal**

<b>Teoría</b>	<b>Aporte central a la PH</b>
<b>Bienes Comunes – Ostrom</b>	Reglas colectivas, monitoreo, sanciones graduales, acción colectiva.
<b>Actor-Red – Latour</b>	La tecnología reconfigura relaciones y capacidades dentro de la comunidad.
<b>Economía Conductual</b>	Nudges, sesgos cognitivos, decisiones no racionales del usuario.
<b>Cambio Organizacional</b>	Procesos de transición, liderazgo, victorias tempranas, sostenibilidad del cambio.
<b>Transiciones Sociotécnicas</b>	Integración entre infraestructura, comportamientos, gobernanza e innovación.

**Nota.** Elaboración propia con base en Ostrom, 1990; Latour, 2005; Thaler & Sunstein, 2008; Kotter, 1996; Hiatt, 2006.

En conjunto, las prácticas observadas, los factores condicionantes, las estrategias integrales y los marcos teóricos revisados demuestran que la eficiencia energética en propiedad horizontal constituye un proceso inherentemente multidimensional que trasciende la mera instalación de tecnologías o la buena voluntad individual de los residentes. Su efectividad

depende de la interacción simultánea entre la infraestructura disponible, los sistemas de gobernanza, la cultura energética de la comunidad, las estructuras de toma de decisiones, los incentivos conductuales y los mecanismos de monitoreo y retroalimentación. Este análisis revela que las soluciones sostenibles exigen articular marcos conceptuales sólidos con herramientas operativas y procesos participativos capaces de adaptar las intervenciones a las dinámicas reales de cada conjunto residencial.

Desde el plano teórico, múltiples enfoques sustentan esta comprensión amplia del fenómeno. La teoría sociotécnica explica cómo la interacción entre artefactos, normas y usuarios modela los patrones de consumo (Geels, 2011). La economía del comportamiento aporta evidencia sobre el papel de los sesgos cognitivos, los “nudges” y la retroalimentación en la toma de decisiones energéticas (Thaler & Sunstein, 2008). La teoría de la agencia evidencia cómo las asimetrías de información entre administradores y residentes pueden limitar la eficiencia, mientras que los modelos organizacionales enfatizan la participación, la cohesión y la gobernanza como determinantes del desempeño.

Estas perspectivas convergen en una idea fundamental: la eficiencia energética es un fenómeno sociotécnico, no exclusivamente tecnológico. Por ello, las intervenciones aisladas rara vez producen cambios sostenidos. Se requiere un enfoque estratégico que articule diagnóstico, planificación, implementación, seguimiento y gobernanza, asegurando que las decisiones energéticas de la comunidad respondan a un proceso continuo y no a acciones puntuales. Para orientar dicho proceso, se presenta a continuación la composición esencial de una estrategia integral de eficiencia energética para la propiedad horizontal.

En conjunto, estas teorías no solo explican los determinantes técnicos y comportamentales del consumo energético en la Propiedad Horizontal, sino que fundamentan la necesidad de un enfoque metodológico integral. Al articular principios de gobernanza colectiva, comprensión de los comportamientos de uso, dinámicas organizacionales y transiciones sociotécnicas, este marco teórico sustenta el diseño del modelo metodológico propuesto en esta investigación, orientado a integrar diagnóstico, planificación, implementación, seguimiento y toma de decisiones informadas en la fase de operación de la Propiedad Horizontal.

## **5 Hipótesis**

En el contexto de la propiedad horizontal, donde las decisiones energéticas dependen de la acción colectiva, la disponibilidad de información técnica y la participación de los residentes, surge la necesidad de comprender si existe interés real por la transición energética (TE) y si las comunidades cuentan con metodologías para implementarla. Con base en ello, se plantean las siguientes hipótesis

### **5.1 Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

Los habitantes de la propiedad horizontal no muestran interés significativo por la transición energética y no disponen de una metodología que les permita aplicarla de manera estructurada.

### **5.2 Hipótesis alterna 1 ( $H_1$ ):**

Los habitantes de la propiedad horizontal sí están interesados en la transición energética, pero carecen de una metodología que facilite su aplicación efectiva.

### **5.3 Hipótesis alterna 2 ( $H_2$ ):**

Los habitantes de la propiedad horizontal sí están interesados en la transición energética y sí cuentan con prácticas o metodologías, aunque sean incipientes o informales, para llevarla a cabo.

## 6 Variables

Las hipótesis planteadas permiten identificar un conjunto de variables indispensables para comprender las dinámicas asociadas a la transición energética en la propiedad horizontal. Estas variables reflejan elementos perceptuales, organizacionales y metodológicos que inciden en la capacidad de los residentes para adoptar prácticas eficientes durante la fase de operación de los edificios.

### 6.1 Tabla 5. Matriz de variables

Variable	Tipo	Definición conceptual
<b>Interés por la Transición Energética (TE)</b>	Independiente	Grado de disposición, motivación y valoración que tienen los residentes hacia la adopción de medidas de transición energética, considerando beneficios ambientales, económicos y de bienestar.
<b>Disponibilidad de metodologías o prácticas para implementar la TE.</b>	Independiente	Grado en que la PH cuenta con herramientas, lineamientos, protocolos, diagnósticos o mecanismos organizativos que facilitan la adopción de prácticas de eficiencia energética.
<b>Capacidad de implementación de la TE.</b>	Dependiente	Grado en que la comunidad puede ejecutar acciones de transición energética considerando interés, gobernanza, recursos y metodologías disponibles.

## 7 Metodología

### 7.1 Enfoque y alcance de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque mixto (cualitativo–cuantitativo), adecuado para el análisis de un fenómeno complejo en el que convergen dimensiones técnicas, sociales, organizacionales y conductuales. La eficiencia energética en la propiedad horizontal (PH) no puede explicarse únicamente a partir de datos técnicos de consumo ni exclusivamente desde percepciones o decisiones comunitarias; por ello, el enfoque mixto permite integrar ambas perspectivas para construir un análisis comprensivo, verificable y orientado a la formulación de una solución metodológica aplicable.

El estudio tiene un alcance descriptivo–correlacional. Desde el componente descriptivo, se caracteriza el comportamiento del consumo energético, las fuentes de consumo y las capacidades organizacionales de la PH. Desde el componente correlacional, se exploran asociaciones entre variables técnicas y sociales —como el nivel de gobernanza energética, el conocimiento normativo y el desempeño energético medido a través del EUI ajustado— sin pretender establecer relaciones causales, sino identificar patrones, brechas y relaciones relevantes para la toma de decisiones en la fase de operación.

En cuanto al diseño, se emplea un método no experimental y transversal, dado que no se manipulan variables y la recolección de datos se realiza en un único momento del tiempo. Este diseño es coherente con el objetivo de analizar un estado de situación real y con la construcción de un modelo metodológico orientado a su aplicación futura en procesos de gestión energética en contextos residenciales.

El abordaje general se sustenta en un paradigma pragmático–sociotécnico, pertinente para estudios en los que interactúan sistemas tecnológicos, comportamiento humano, gobernanza comunitaria e instituciones regulatorias. Desde este enfoque, la validez de la investigación no se limita a la coherencia conceptual, sino que se fundamenta en la utilidad, aplicabilidad y replicabilidad del modelo propuesto en contextos reales de la ciudad.

Con el fin de garantizar la coherencia entre los objetivos de la investigación, las actividades desarrolladas y los resultados esperados, se estructuró un diseño metodológico integral que articula de manera sistemática los objetivos específicos del estudio con las fases de análisis, los instrumentos aplicados y los indicadores de verificación. Este diseño se presenta de forma detallada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, incluida en el anexo metodológico, con el propósito de ofrecer al lector una visión completa del proceso sin sobrecargar el cuerpo principal del documento.

La tabla resume el encadenamiento lógico entre diagnóstico, análisis, evaluación y formulación metodológica, asegurando la trazabilidad entre la recolección de datos, su

procesamiento y la generación de evidencia técnica y social. De este modo, el capítulo metodológico se centra en explicar el enfoque, el alcance y los procedimientos clave del estudio, mientras que el anexo permite profundizar en el detalle operativo del diseño metodológico para quienes requieran una lectura más técnica.

A partir de este marco metodológico general, en los apartados siguientes se desarrolla de manera progresiva la aplicación del diseño propuesto, describiendo los instrumentos utilizados, los procedimientos de recolección y procesamiento de la información, así como los criterios de validación empleados. Este desarrollo permite comprender cómo el enfoque metodológico se operacionaliza en cada fase del estudio y cómo se articula la evidencia técnica y social que sustenta la propuesta de transición hacia la eficiencia energética en la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C.

El diseño metodológico detallado se presenta en «Anexo 3. Diseño metodológico», donde se sintetiza la relación entre los objetivos específicos de la investigación, las actividades desarrolladas, los resultados esperados y los indicadores de verificación. Esta tabla permite visualizar la secuencia y trazabilidad del proceso metodológico seguido, sirviendo como referencia técnica complementaria al desarrollo presentado en el cuerpo del documento.

## **7.2 Diagnóstico de las principales fuentes de consumo energético, y su impacto en la huella de carbono en la PH en su fase de operación en Bogotá D.C.**

### **7.2.1 Definir población y muestra**

La población objetivo de este estudio está conformada por residentes de propiedad horizontal ubicados en las localidades de Teusaquillo, Suba y Usaquén en Bogotá D.C., pertenecientes a los estratos socioeconómicos 3 y 4. Este segmento representa una porción de la clase media urbana de la ciudad, caracterizada por viviendas multifamiliares, acceso regular a servicios públicos y patrones de consumo energético que reflejan las dinámicas residenciales comunes en la capital.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron cuatro conjuntos residenciales bajo el régimen de Propiedad Horizontal, los cuales, en conjunto, agrupan aproximadamente 495 unidades habitacionales. La selección de estos conjuntos respondió a criterios de accesibilidad, disposición institucional para la participación y diversidad tipológica, lo que permitió contar con contextos representativos para el análisis exploratorio propuesto.

El primer contacto se realizó con los administradores de cada conjunto residencial, mediante gestión directa de los investigadores. Posteriormente, se llevaron a cabo reuniones virtuales o comunicaciones telefónicas en las que se explicó de manera detallada el objetivo del estudio, el alcance de la investigación y las condiciones de participación de los residentes.

En todos los casos, los administradores manifestaron su disposición para apoyar la difusión del instrumento de recolección de información.

Con base en sus recomendaciones operativas, la encuesta fue difundida a través de los canales oficiales de comunicación de cada copropiedad, principalmente correos electrónicos institucionales y grupos de WhatsApp residenciales. Adicionalmente, se compartió un video explicativo que describía el propósito del estudio y el uso del instrumento, con el fin de facilitar la comprensión y promover la participación informada. La aplicación de la encuesta se programó entre los viernes y lunes, periodo identificado por los administradores como aquel en el que los residentes suelen prestar mayor atención a las comunicaciones de la administración.

A partir de una población potencial de 495 unidades habitacionales, se obtuvo una muestra efectiva de 30 participantes, equivalente al 6,06 % del total posible. La participación fue voluntaria. Una vez finalizado el periodo de aplicación, el formulario fue cerrado y se procedió al procesamiento y análisis de la información recopilada.

El tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico por conveniencia, adecuado en investigaciones exploratorias donde la participación depende del acceso y disposición de los residentes, y no persigue representatividad estadística ni inferencias poblacionales.

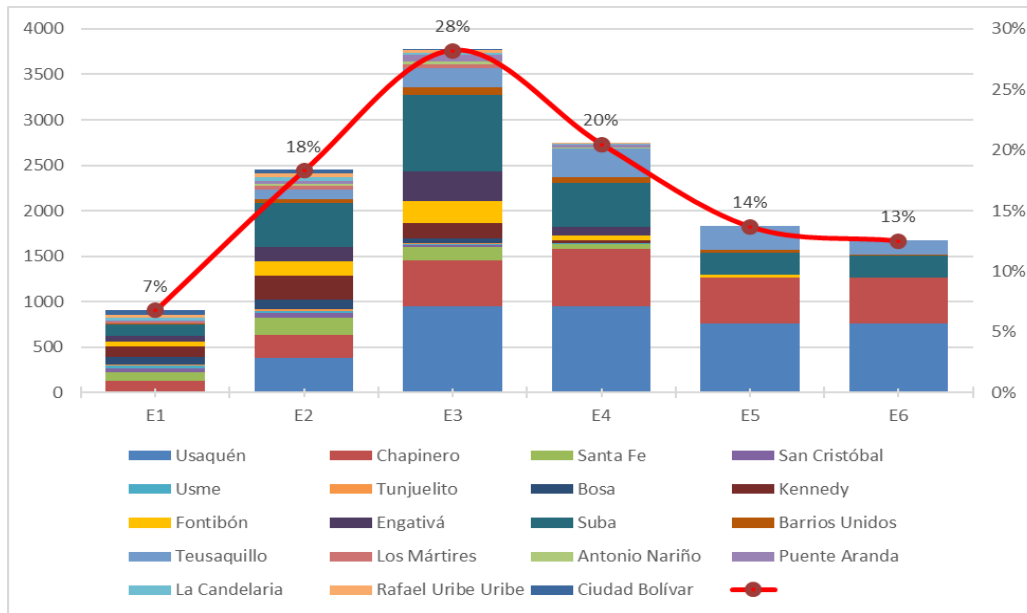
La muestra incorpora un rango de edad desde los 18 años hasta mayores de 60, predominando los grupos entre 36 y 60 años, es decir, personas económicamente activas que asumen decisiones sobre consumo energético, mantenimiento del hogar y adopción de tecnologías eficientes. Esta composición etaria aporta diversidad intergeneracional y permite analizar diferencias internas en prácticas, percepciones y barreras frente a la eficiencia energética (UPME, 2023).

Aunque la muestra no tiene intención de representatividad estadística —propia de estudios explicativos o inferenciales— sí constituye una base pertinente, contextualizada y suficiente para una investigación aplicada de diseño metodológico. En este sentido, los resultados permiten identificar tendencias y patrones observados de comportamiento energético dentro de la muestra analizada, así como reconocer barreras cognitivas y operativas relevantes para el contexto estudiado y apoyar la validación del instrumento, el cual se proyecta como potencialmente transferible a otros conjuntos residenciales con características socioeconómicas y habitacionales similares, sin implicar generalización estadística directa (MME, 2021).

La Figura 4 presenta la distribución de hogares por estrato socioeconómico y localidad en Bogotá, donde se observa que los estratos 3 y 4 combinados representan aproximadamente el 48% de los hogares de la ciudad. Esta información se incorpora con fines de

contextualización demográfica del estudio, y no como sustento de representatividad estadística de la muestra, reforzando la pertinencia del enfoque en estratos con alta presencia en la capital.

**Figura 4. Distribución de PH por estrato y localidad en Bogota, 2025**



**Fuente:** Secretaria Distrital de Gobierno, 2025.

La delimitación territorial y sociodemográfica aplicada en el estudio garantiza un enfoque plenamente coherente con los objetivos de investigación. La selección de las comunidades participantes permite trabajar sobre un contexto urbano real, con condiciones verificables de consumo energético y prácticas de gestión en propiedad horizontal, lo que refuerza la validez práctica del estudio y la aplicabilidad de sus resultados en escenarios residenciales con características similares.

Si bien la caracterización de la población y la muestra constituye un insumo clave para comprender el perfil sociodemográfico de los residentes y sus patrones declarados de uso de energía, este componente por sí solo no es suficiente para construir un diagnóstico energético robusto. Por ello, el estudio integra una segunda línea de análisis sustentada en datos técnicos provenientes de fuentes oficiales, con el fin de complementar, contrastar y validar la información suministrada por los participantes.

### 7.2.2 Extracción de datos secundarios O3–SSPD y del registro de PH

En esta fase, se incorporó el cruce con el sistema O3 de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y con el Registro de Propiedad Horizontal de la Secretaría

de Gobierno, lo que permite vincular consumos reales facturados, características constructivas de los conjuntos residenciales y su ubicación geográfica. Esta articulación entre información primaria (encuestas) y secundaria (registros administrativos) fortalece la calidad y confiabilidad del diagnóstico energético, posibilita identificar patrones consistentes y reduce sesgos derivados de la autopercepción de los usuarios.

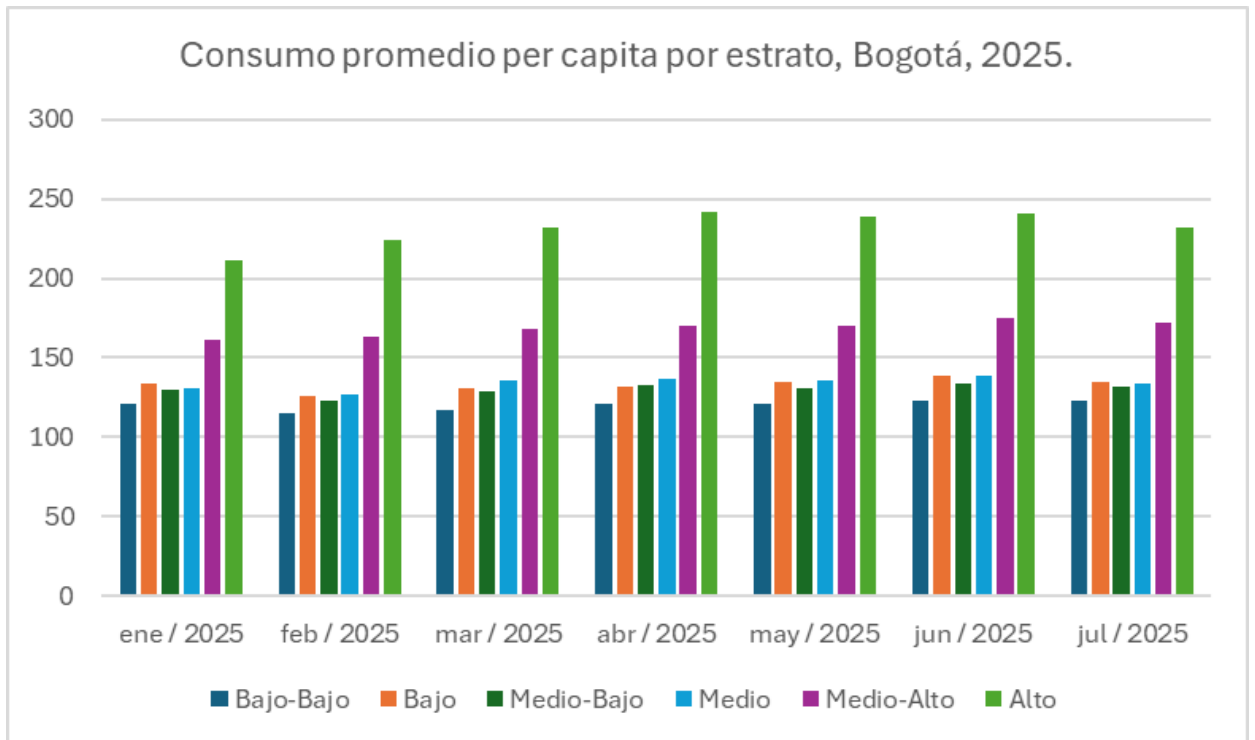
De esta manera, se configura una base de análisis integral, que combina datos sociodemográficos, conductuales y técnicos, permitiendo avanzar hacia una comprensión más completa de las dinámicas energéticas en la propiedad horizontal. Este enfoque híbrido constituye el fundamento metodológico para las siguientes actividades, enfocadas en el diagnóstico energético, la clasificación del equipamiento, la estimación de huella de carbono y la identificación del potencial de eficiencia energética en los conjuntos seleccionados.

El análisis de datos secundarios O3–SSPD y del Registro de Propiedad Horizontal, se fundamentó en fuentes oficiales y verificables, principalmente la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) —a través del sistema O3— y la Secretaría Distrital de Gobierno, mediante el portal de datos abiertos del Registro de Propiedad Horizontal. La integración de ambas fuentes hace posible relacionar el comportamiento del consumo eléctrico con las características físicas, administrativas y socioeconómicas de las edificaciones residenciales en Bogotá D.C.

Los análisis muestran diferencias estadísticamente relevantes entre los niveles de consumo por estrato socioeconómico, como se observa en la **Figura 4**. Sin embargo, se evidencia que el consumo per cápita no depende exclusivamente del nivel de ingreso, sino de factores como el tamaño y composición del hogar, la disponibilidad tecnológica, la eficiencia del equipamiento, hábitos de uso, restricciones económicas y envejecimiento de infraestructuras internas.

Los resultados confirman que los estratos 2 y 3 concentran la mayor parte de la demanda agregada de energía en Bogotá, superando los 10 GWh mensuales, lo que refuerza la pertinencia de focalizar en estos segmentos las estrategias de eficiencia energética y programas de intervención comunitaria.

**Figura 5. Consumo per cápita por estrato, Bogotá, 2025**

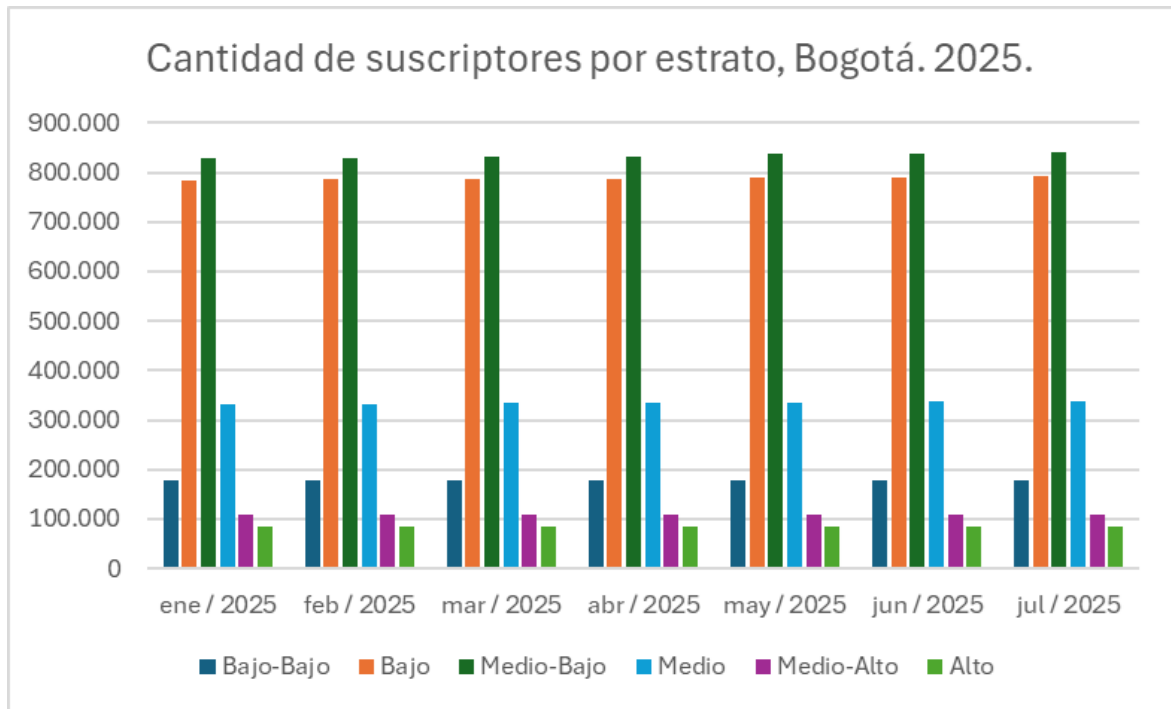


**Fuente:** Elaboración propia con datos de O3.

Este hallazgo resulta fundamental, el consumo energético per cápita no guarda una relación lineal con la capacidad adquisitiva, sino que responde a una combinación de factores como el tamaño del hogar, los hábitos de uso, el nivel de eficiencia tecnológica y las restricciones de acceso a equipos eléctricos de alto consumo. En consecuencia, un mayor ingreso no necesariamente implica un mayor gasto energético, especialmente en contextos donde los hogares son más pequeños o la infraestructura es más eficiente.

En la Figura 5 mostramos la cantidad de suscriptores por estrato socioeconómico en Bogotá D.C. durante 2025, evidenciando una concentración significativa en los estratos bajo (2) y medio-bajo (3), con valores cercanos a 800.000 y 850.000 usuarios, respectivamente. En contraste, los estratos medio-alto (5) y alto (6) representan una fracción considerablemente menor del total de suscriptores residenciales.

**Figura 6. Cantidad de suscriptores residenciales de energía eléctrica, Bogotá, 2025**



Fuente: elaboración propia con datos de O3.

Este comportamiento refleja que, aunque los hogares de estratos altos puedan presentar consumos per cápita relativamente mayores, su impacto sobre la demanda energética total es reducido por su baja participación poblacional. Por el contrario, los estratos bajo, medio-bajo y medio resultan determinantes en el comportamiento agregado del consumo eléctrico urbano, lo que reafirma la necesidad de focalizar estos segmentos.

Cuando se multiplica el consumo promedio per cápita por el número de suscriptores, se obtiene el consumo total por estrato. Este indicador confirma que los estratos 2 y 3 son los principales responsables de la demanda energética en Bogotá, superando los 10 GWh mensuales cada uno. El estrato 4 (medio) ocupa un tercer lugar, con valores cercanos a los 4,5 GWh mensuales, mientras que los estratos altos (5 y 6) tienen un peso marginal en el agregado. El hallazgo más relevante es que los estratos bajos y medios, a pesar de tener un consumo per cápita moderado, representan el núcleo del consumo total por su gran volumen poblacional.

### 7.2.3 Diseñar y validar instrumentos

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos de la investigación y asegurar la solidez del diagnóstico energético, se diseñó y aplicó un conjunto de instrumentos coherente

con el enfoque metodológico mixto adoptado. Estos instrumentos permitieron integrar información proveniente de fuentes oficiales, datos primarios recopilados directamente de los residentes de la Propiedad Horizontal y matrices analíticas especializadas, facilitando una lectura articulada de la dimensión técnica del consumo energético y de los factores socio comportamentales que influyen en la toma de decisiones al interior de los conjuntos residenciales de Bogotá D.C.

Los instrumentos desarrollados y utilizados en el estudio fueron los siguientes:

- **Instrumento 1:** Análisis de bases de datos oficiales (O3–SSPD y Registro de Propiedad Horizontal), orientado a la caracterización del consumo energético y del contexto territorial y operativo de la PH.
- **Instrumento 2:** Matriz socio energética, diseñada para integrar variables territoriales, socioeconómicas y técnicas, y facilitar un análisis relacional del desempeño energético.
- **Instrumento 3:** Encuesta estructurada, construida a partir de la fase cualitativa, destinada a la recolección de información primaria sobre hábitos, percepciones, prácticas energéticas y dinámicas de gobernanza comunitaria.
- **Instrumento 4:** Instrumento de salida, orientado a la evaluación de la coherencia interna de las escalas, la depuración final de los datos y la garantía de trazabilidad de los resultados obtenidos.

Los instrumentos fueron concebidos de manera articulada con el propósito de responder a los objetivos del estudio desde una perspectiva integral. El análisis de las bases oficiales permitió contextualizar los patrones de consumo energético dentro del marco territorial, normativo y operativo de los conjuntos residenciales. La matriz socio energética operó como un dispositivo de integración analítica al vincular variables técnicas con características socioeconómicas y de gestión, facilitando la identificación de patrones situados de consumo y operación. Sobre esta base, la encuesta estructurada profundizó en la comprensión de hábitos, percepciones, prácticas cotidianas y dinámicas organizacionales, elementos clave para identificar barreras y oportunidades asociadas a la transición hacia la eficiencia energética en la fase de operación de la PH. Finalmente, el instrumento de salida permitió verificar la coherencia interna de las escalas utilizadas y asegurar la trazabilidad del proceso analítico, fortaleciendo la consistencia metodológica del estudio y su capacidad para sustentar la propuesta de una metodología integral aplicable a contextos residenciales con características similares, sin pretensión de generalización estadística.

#### **7.2.4 *Proceso de validación***

El proceso de validación de los instrumentos utilizados en esta investigación se desarrolló de manera diferenciada y coherente con la naturaleza de cada uno, en el marco del enfoque

mixto adoptado. La validación se orientó a asegurar la consistencia metodológica, la trazabilidad de la información y la pertinencia de los resultados para el diagnóstico y la propuesta metodológica en Propiedad Horizontal.

El **Instrumento 1**, basado en el análisis de bases de datos oficiales (O3–SSPD y Registro de Propiedad Horizontal), se validó a partir de su carácter institucional y regulatorio, complementado con procesos de depuración, emparejamiento y control de calidad de los datos, garantizando consistencia, cobertura y representatividad del consumo energético residencial.

El **Instrumento 2**, correspondiente a la matriz de caracterización socio-energética, fue validado mediante triangulación metodológica, integrando variables técnicas, territoriales y socioeconómicas provenientes de fuentes oficiales y de información primaria. Su validación se fundamentó en la coherencia interna entre dimensiones, la consistencia conceptual de las variables y su capacidad para establecer relaciones analíticas relevantes para la priorización de estrategias.

El **Instrumento 3**, la encuesta estructurada aplicada a residentes fue validado en términos de diseño mediante la definición clara de secciones temáticas, tipos de variables y escalas de medición acordes con estudios socio-energéticos. Posteriormente, su consistencia interna fue evaluada de forma cuantitativa a través del Instrumento 4.

El **Instrumento 4**, correspondiente al módulo de validación psicométrica, permitió evaluar la fiabilidad del cuestionario mediante el coeficiente alfa de Cronbach, verificando la coherencia interna de los ítems asociados a los constructos de conocimiento, prácticas y disposición al cambio.

En conjunto, este proceso de validación aseguró que los instrumentos empleados fueran metodológicamente consistentes, complementarios entre sí y adecuados para sustentar tanto el análisis diagnóstico como la formulación de la metodología integral propuesta.

### **7.3 Instrumento 1: análisis de bases de datos oficiales**

El primer instrumento consistió en la consulta, extracción, depuración y análisis de bases de datos oficiales provenientes de dos fuentes institucionales: la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), a través de la plataforma O3, y la Secretaría Distrital de Gobierno (SDG), mediante el Registro de Propiedad Horizontal disponible en su portal de datos abiertos.

Este instrumento constituye la base técnica del estudio, al permitir la construcción de la línea base energética residencial de Bogotá D.C., la identificación de patrones de consumo por estrato socioeconómico y la contextualización territorial, física y administrativa de los

conjuntos en Propiedad Horizontal. El uso de estas fuentes garantiza validez institucional, trazabilidad de los datos y representatividad estadística a escala urbana.

En términos operativos, el análisis permitió caracterizar el consumo mensual de energía eléctrica, las tarifas aplicadas, el número de suscriptores por estrato y la localización territorial de los usuarios, así como vincular esta información con variables físicas y administrativas de las copropiedades, tales como número de unidades, área construida, UPZ y localidad. A partir de esta articulación se construyeron indicadores energéticos clave, incluyendo el consumo per cápita y la intensidad de uso de la energía (EUI), que sirvieron como insumo para la triangulación con la información primaria recolectada mediante encuesta.

La descripción detallada de las variables consultadas en el sistema O3–SSPD y en el Registro de Propiedad Horizontal, junto con su definición operativa y aplicación metodológica, se presenta en el «Anexo 4. Variables consultadas en O3 – SSPD» y el «Anexo 5. Variables consultadas en el Registro de Propiedad Horizontal – SDG», con el fin de facilitar la lectura del cuerpo principal del documento sin perder trazabilidad técnica.

**Anexo 4. Variables consultadas en O3 – SSPD y Anexo 5. Variables consultadas en el Registro de Propiedad Horizontal – SDG.** Estos anexos presentan el detalle de las variables extraídas del sistema O3–SSPD (4) y del Registro de Propiedad Horizontal de la Secretaría Distrital de Gobierno (5), incluyendo su definición operativa, unidad de medida y aplicación metodológica dentro del estudio. Estas variables constituyen la base para la construcción de indicadores energéticos, la caracterización territorial y la integración con la información primaria obtenida mediante encuesta.

#### **7.4 Instrumento 2: matriz de caracterización socio-energética**

El segundo instrumento aplicado en esta investigación corresponde a la construcción de una matriz de caracterización socio-energética, elaborada con el propósito de integrar en un solo sistema analítico variables relacionadas con el consumo eléctrico, el estrato socioeconómico, la localización territorial y las características físicas de las propiedades horizontales. Este instrumento permite consolidar, organizar y relacionar información proveniente tanto de fuentes oficiales como de datos primarios obtenidos directamente de los residentes.

La construcción de esta matriz responde a la necesidad metodológica de articular dimensiones técnicas, territoriales y socioculturales dentro de un mismo marco de análisis, superando enfoques fragmentados del consumo energético residencial. Esta integración es consistente con las recomendaciones internacionales para estudios urbanos y de eficiencia energética, que resaltan la importancia de considerar simultáneamente factores tecnológicos,

poblacionales y comportamentales para orientar intervenciones efectivas y sostenibles en el entorno residencial (IEA, 2022; UPME, 2023).

La matriz socio-energética cumple una función de síntesis, correlación y priorización, al relacionar el consumo eléctrico con la estructura socioeconómica de la ciudad e identificar los estratos y tipologías de Propiedad Horizontal que concentran mayores niveles de demanda energética. Asimismo, vincula las características físico-constructivas de los conjuntos residenciales —como número de unidades, área construida, densidad y localización— con su comportamiento energético reportado.

Este instrumento integra los resultados de la encuesta aplicada a los residentes con la información oficial proveniente del sistema O3–SSPD y del Registro de Propiedad Horizontal, lo que permite comprender patrones observados de uso, percepciones, barreras y prácticas asociadas a la eficiencia energética. A partir de esta integración, la matriz establece criterios objetivos para la priorización y focalización de medidas dentro de la metodología integral de eficiencia energética propuesta en el estudio.

En conjunto, la matriz socio-energética sintetiza las principales dimensiones que inciden en el desempeño energético de la Propiedad Horizontal, integrando variables poblacionales, de demanda energética, características físico-constructivas, cultura energética y equipamiento eléctrico. Esta estructura analítica permite evaluar de manera simultánea cómo el consumo eléctrico se relaciona con el estrato socioeconómico, la localización territorial, la forma urbana y las prácticas de uso y gestión de la energía en los hogares.

La estructura detallada de la matriz, incluyendo las dimensiones analizadas, las variables incorporadas, las fuentes de datos y su función analítica, se presenta en el «Anexo 6. Componentes de la matriz socioenergética». Esta disposición facilita la lectura del cuerpo principal del documento, sin perder el nivel de detalle técnico requerido para la trazabilidad, replicabilidad y aplicación del instrumento en otros contextos de Propiedad Horizontal.

**Anexo 6. Componentes de la matriz socioenergética:** Este anexo presenta la matriz de caracterización socio-energética empleada como instrumento analítico para integrar variables técnicas, socioeconómicas, territoriales y comportamentales asociadas al consumo energético en la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C. La matriz consolida información proveniente de fuentes oficiales (O3–SSPD y Registro de Propiedad Horizontal) y datos primarios obtenidos mediante encuesta a residentes, permitiendo relacionar el consumo eléctrico con el estrato socioeconómico, la localización territorial, las características físico-constructivas de los conjuntos y las prácticas de uso y gestión de la energía.

### 7.5 Instrumento 3: encuesta estructurada

El tercer instrumento corresponde a una encuesta estructurada diseñada para recopilar información primaria directamente de hogares ubicados en Propiedad Horizontal en Bogotá D.C., específicamente en las localidades de Suba, Teusaquillo y Usaquén, y en los estratos socioeconómicos 3 y 4. Su objetivo es caracterizar hábitos de consumo energético, percepciones, equipamiento eléctrico, prácticas cotidianas y disposición al cambio por parte de los residentes. Este instrumento cumple un rol central dentro del enfoque mixto del estudio, al permitir incorporar la perspectiva del usuario final y complementar la información técnica proveniente de fuentes oficiales como el sistema O3-SSPD y el Registro de Propiedad Horizontal. De esta manera, la encuesta aporta evidencia empírica sobre factores comportamentales, culturales y organizacionales que no pueden ser capturados mediante bases de datos institucionales. El diseño de la encuesta siguió lineamientos metodológicos utilizados en estudios socio energéticos y de eficiencia energética residencial, incorporando preguntas cerradas, escalas tipo Likert, variables continuas y discretas. Esta estructura permitió capturar tanto información objetiva sobre el uso de equipos como percepciones subjetivas asociadas al consumo, la gobernanza y las barreras para la adopción de medidas de eficiencia energética.

La encuesta se organizó en cinco secciones temáticas, orientadas a capturar dimensiones clave del comportamiento energético residencial, tal como se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6. Estructura temática de la encuesta**

Sección	Contenido	Tipo de variables	Finalidad
<b>1. Datos sociodemográficos</b>	Localidad, estrato, edad, número de residentes, área de vivienda, tiempo de residencia	Ordinales y continuas	Caracterizar el perfil del hogar y contextualizar los patrones de consumo
<b>2. Conocimiento y percepción</b>	Conocimiento de PROURE, RETIE/RETIQ, importancia de reducir la huella de carbono	Escala Likert	Medir cultura energética y nivel de sensibilización
<b>3. Hábitos y prácticas energéticas</b>	Medidas de ahorro aplicadas, participación comunitaria, consumo mensual declarado	Escala Likert	Identificar prácticas reales de consumo y comportamiento cotidiano
<b>4. Disposición al cambio</b>	Disposición a invertir, barreras percibidas,	Escala Likert	Estimar el potencial de adopción de

Sección	Contenido	Tipo de variables	Finalidad
	apertura a programas y tecnologías eficientes		medidas de eficiencia energética
<b>5. Inventario de electrodomésticos</b>	Disponibilidad, cantidad, horas de uso e importancia percibida de cada equipo	Discretas, continuas y Likert	Identificar focos de demanda energética dentro del hogar

**Anexo 1. Formulario de encuesta aplicado:** La encuesta estructurada cumple metodológicas esenciales dentro del diseño mixto del estudio como complementar la información oficial con evidencia primaria, capta prácticas reales de consumo, percepciones ciudadanas y barreras culturales que no pueden obtenerse a partir de bases de datos institucionales. Su integración con O3–SSPD y el Registro de Propiedad Horizontal mejora la profundidad del diagnóstico. Facilita el análisis sociodemográficos, territoriales y energéticos combinados, ya que los resultados pueden cruzarse con las variables oficiales (consumo real, estrato, localización, densidad) y con la matriz socio-energética, posibilitando la construcción de perfiles integrados de consumo energético por estrato y contexto territorial. Así mismo, sirve como base para la validación estadística.

#### 7.6 Instrumento 4: módulo de validación y análisis de coherencia interna

El cuarto instrumento corresponde al módulo de validación psicométrica aplicado a los ítems del cuestionario estructurado. Su objetivo fue evaluar la fiabilidad y coherencia interna del instrumento utilizado para medir constructos asociados al conocimiento normativo–ambiental, las prácticas de consumo energético y la disposición al cambio de los residentes en propiedad horizontal en Bogotá D.C.

Este módulo de validación se diseñó conforme a los lineamientos metodológicos para la construcción de escalas en ciencias sociales, los cuales recomiendan verificar la consistencia interna mediante el coeficiente alfa de Cronbach como criterio de fiabilidad estadística y estabilidad conceptual de los resultados (Cronbach, 1951; George & Mallery, 2003). El análisis se aplicó a un conjunto de nueve ítems del cuestionario (P7 a P15), organizados en tres dimensiones analíticas: conocimiento y percepción normativa–ambiental, hábitos y prácticas de consumo, y disposición al cambio y adopción tecnológica. La definición de estas dimensiones se fundamentó en los ejes estratégicos del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía – PROURE 2022–2030, que articula cultura energética, gestión adaptativa y adopción tecnológica en el sector residencial (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

Los ítems fueron formulados bajo una escala de medición tipo Likert de cinco puntos, lo que permitió capturar gradientes de conocimiento, frecuencia, valoración y disposición al cambio, así como modelar la variabilidad interindividual necesaria para la estimación del coeficiente alfa. En el análisis se incluyeron únicamente ítems diseñados bajo una lógica de medición homogénea y con dirección interpretativa consistente, garantizando coherencia psicométrica en la estimación del indicador de fiabilidad.

Para el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach se construyó una matriz base con las respuestas individuales de los participantes, a partir de la cual se estimaron las varianzas individuales de cada ítem y la varianza total del puntaje compuesto. El procedimiento incluyó la verificación de supuestos psicométricos básicos, como la unidimensionalidad aproximada de las dimensiones, la estructura ordinal homogénea y la ausencia de ítems invertidos, asegurando la validez técnica del valor estimado para los datos recolectados.

La descripción detallada de las dimensiones analizadas, los ítems incluidos en el análisis de fiabilidad y la escala de medición utilizada se presenta en el «Anexo 7. Dimensiones e ítems incluidos en el análisis de fiabilidad», con el fin de preservar la fluidez del cuerpo metodológico y concentrar el detalle técnico del proceso de validación en los anexos.

Los ítems considerados en el análisis de consistencia interna corresponden a los constructos centrales de la investigación: conocimiento y percepción normativa–ambiental, hábitos y prácticas de consumo, y disposición al cambio. Siguiendo las recomendaciones metodológicas para escalas psicométricas (Cronbach, 1951), se incluyeron únicamente ítems formulados bajo una lógica de medición homogénea y con capacidad de reflejar variabilidad interindividual, garantizando coherencia en la estimación del coeficiente alfa.

A continuación, se presentan los ítems utilizados en el análisis:

### **Dimensión 1: conocimiento y percepción normativa–ambiental**

- P7. Conocimiento del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE).
- P8. Conocimiento del RETIE/RETIQ o RETILAP.
- P9. Importancia asignada a reducir la huella de carbono en el conjunto.
- P10. Interés en participar en programas institucionales de ahorro energético.

### **Dimensión 2: hábitos y prácticas de consumo**

- P11. Frecuencia de aplicación de medidas de ahorro energético dentro del hogar.
- P12. Participación en actividades o campañas comunitarias de eficiencia energética.
- P13. Estimación de prácticas cotidianas asociadas al consumo energético responsable.

### **Dimensión 3: disposición al cambio y adopción tecnológica**

- P14. Disposición a invertir en tecnologías eficientes (iluminación LED, sensores, energías renovables).
- P15. Percepción de barreras para la implementación de mejoras energéticas (costos, desconocimiento, interés comunitario, incentivos).

Con el fin de evaluar la consistencia interna del instrumento de validación, se elaboró una matriz base de respuestas, esta permite consolidar las puntuaciones individuales otorgadas por los 30 participantes y constituye el insumo directo para el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach.

El uso de una matriz estructurada responde a los lineamientos establecidos por la literatura psicométrica, según los cuales la estimación del alfa requiere que los ítems evalúen constructos relacionados, presenten un nivel adecuado de variabilidad y mantengan una dirección de interpretación homogénea (George & Mallery, 2003).

El coeficiente alfa de Cronbach se calculó utilizando la fórmula tradicional:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_T^2}\right)$$

donde

- $k$  = número de ítems (9),
- $\sigma_i^2$  = varianza individual de cada ítem,
- $\sigma_T^2$  = varianza total del puntaje compuesto (VT).

Para la estimación se construyó de la matriz de ítems con las respuestas individuales, se realizó el cálculo de varianzas individuales para cada ítem, posteriormente se calculó la varianza total del puntaje VT, luego se realizó la integración de varianzas en la fórmula del alfa y finalmente se realizó la verificación de supuestos psicométricos, particularmente la unidimensionalidad aproximada de las dimensiones, la estructura ordinal homogénea, y la ausencia de ítems invertidos. Este procedimiento garantiza la validez del valor estimado para los datos recolectados.

#### **7.7 Análisis del coeficiente alfa de Cronbach**

El análisis de confiabilidad del instrumento aplicado a 30 residentes de Propiedad Horizontal en Bogotá D.C. arrojó un coeficiente alfa de Cronbach de 0,609 para los ítems comprendidos

entre las preguntas 7 y 15, organizadas en tres dimensiones: conocimiento y percepción, hábitos y prácticas, y disposición al cambio.

Según George y Mallery (2003), valores de alfa entre 0,60 y 0,69 se consideran cuestionables; sin embargo, este resultado no implica la invalidez del instrumento. Como señalan DeVellis (2017) y Hair et al. (2019), el coeficiente alfa tiende a disminuir cuando el cuestionario integra dimensiones conceptualmente distintas, dado que asume la medición de un único constructo latente.

En este estudio, el instrumento no fue diseñado como una escala unidimensional, sino como una herramienta diagnóstica para captar un fenómeno multidimensional asociado a la gestión energética en la fase de operación de la Propiedad Horizontal. En investigaciones exploratorias y aplicadas, este tipo de instrumentos suele presentar valores de alfa moderados, los cuales resultan metodológicamente informativos para identificar patrones y relaciones entre dimensiones (Nunnally & Bernstein, 1994).

El análisis por dimensiones confirmó esta naturaleza multidimensional, evidenciando variaciones en la consistencia interna entre los bloques de preguntas. Adicionalmente, el tamaño muestral y el bajo nivel de familiaridad de los encuestados con conceptos de eficiencia energética introducen heterogeneidad en las respuestas, lo que contribuye a reducir el valor del coeficiente sin comprometer la utilidad del instrumento.

En consecuencia, el valor de alfa obtenido se considera adecuado para los fines exploratorios de la investigación y suficiente para sustentar el diagnóstico socioenergético y la formulación de la metodología integral propuesta.

## **7.8 Integración y depuración de datos (proceso ETL)**

Con el propósito de consolidar una base de información robusta y coherente que integrara los datos provenientes de las bases oficiales (Instrumento 1), la matriz socioenergética (Instrumento 2) y la encuesta aplicada a residentes (Instrumento 3), se desarrolló un proceso de integración y depuración de datos bajo la lógica ETL (Extract, Transform, Load). Este procedimiento permitió unificar información técnica, territorial y perceptual, garantizando consistencia metodológica y calidad estadística para los análisis posteriores.

### **7.8.1 Extracción (extract)**

En esta fase se recopilaron las tres fuentes principales, preservando su estructura original para asegurar trazabilidad. De la herramienta O3-SSPD se extrajeron los consumos mensuales por suscriptor, el estrato socioeconómico, el número de usuarios y las variables tarifarias. Del Registro de Propiedad Horizontal (SDG) se obtuvo la dirección oficial, localidad, UPZ, área construida, número de unidades e identificadores prediales.

En la encuesta estructurada formulada por los autores, la información extraída correspondió a los datos sociodemográficos, percepciones, hábitos de uso energético y disposición al cambio.

Esta etapa permitió identificar diferencias de formato, estructura y calidad entre las fuentes, lo cual justificó la necesidad de un proceso de transformación riguroso.

### **7.8.2 Transformación (transform)**

Esta fue la etapa central del proceso ETL. Las acciones ejecutadas incluyeron la limpieza y corrección de inconsistencias, la eliminación de registros duplicados, la depuración de valores atípicos o incompletos y la estandarización ortográfica y textual de los nombres de los conjuntos. Asimismo, se realizó la homologación de abreviaturas direccionales (Cl., Cra., Av.) y la validación de rangos, categorías y formatos.

En cuanto a la normalización de nombres de conjuntos residenciales, se consolidaron diversas versiones de un mismo conjunto (por ejemplo: “Parque Residencial Nuevo Suba Et L3”, “Nuevo Suba etapa 1 lote 3”) bajo una única etiqueta normalizada. Esto permitió alinear la información de la encuesta con las bases oficiales y mejorar la precisión del emparejamiento.

En la estandarización territorial se verificaron la localidad y la UPZ, se revisaron y homologaron las direcciones y se incorporaron identificadores prediales cuando fue posible.

Finalmente, se construyeron claves de emparejamiento mediante criterios jerárquicos para integrar las fuentes, tales como: nombre normalizado del conjunto, dirección oficial, localidad + UPZ y identificador predial/NIT. Estas claves evitaron ambigüedades en conjuntos con nombres similares y permitieron una integración precisa.

### **7.8.3 Carga e integración (load)**

En esta fase se realizaron los procesos de consolidación final. El primero consistió en el cruce Encuesta ↔ Registro PH, mediante el uso del nombre normalizado y las variables territoriales, lo que permitió garantizar coincidencias consistentes.

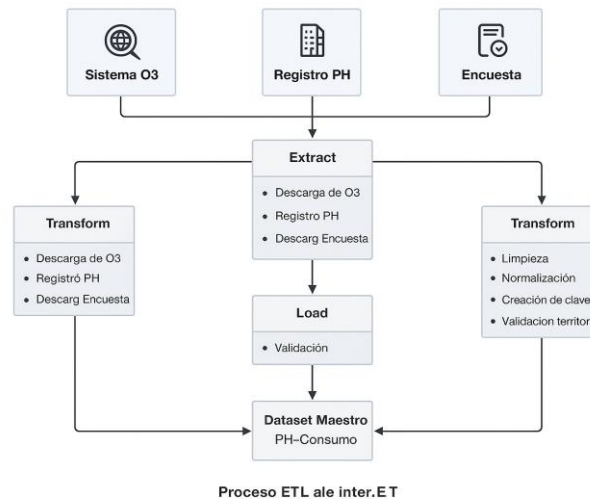
Posteriormente se realizó el cruce Registro PH ↔ O3-SSPD, integrando territorios, direcciones y tamaños de conjunto para conectar la información física con los consumos energéticos reales. Esto permitió la construcción del Dataset Maestro PH-Consumo, que incorporó variables técnicas, territoriales, sociodemográficas y perceptuales, tales como: identificador del conjunto, localidad y UPZ, área construida y número de unidades, consumo total y per cápita, estrato socioeconómico, equipamiento eléctrico y horas de uso, prácticas

y percepciones energéticas, y disposición al cambio. Este dataset constituyó el insumo central para los análisis descriptivos, estadísticos y comparativos del estudio.

El procedimiento alcanzó indicadores de calidad recomendados por entidades nacionales e internacionales: coincidencia entre fuentes  $\geq 80\%$ , completitud de registros  $> 95\%$ , eliminación total de duplicados, consistencia en los datos de consumo (variación aceptada  $< 5\%$ ) y uniformidad territorial y nominal.

Con el propósito de garantizar la trazabilidad, consistencia y calidad de la información utilizada en el análisis, se estructuró un proceso de integración de datos basado en el enfoque ETL (Extract, Transform, Load). Este enfoque permite organizar de manera sistemática las etapas de extracción, depuración, homologación y consolidación de múltiples fuentes de información, asegurando que los datos empleados en el estudio respondan a criterios técnicos y metodológicos homogéneos. A continuación, se presenta el flujo conceptual del proceso ETL implementado, el cual resume las principales etapas del tratamiento de datos y su articulación con la construcción del dataset analítico del estudio.

**Figura 7. Flujo conceptual del proceso ETL (Extract, Transform, Load), Bogotá, 2025**



**Fuente:** Elaboración propia con datos de O3.

La Figura 7 representa el ciclo completo del proceso ETL aplicado en esta investigación. En la fase de **extracción (Extract)** se recopilaban los datos provenientes de la plataforma O3–SSPD, el Registro de Propiedad Horizontal y la encuesta estructurada aplicada a residentes. Posteriormente, en la fase de **transformación (Transform)** se ejecutaron procesos de limpieza, estandarización, homologación de variables, validación de registros y corrección de inconsistencias, con el fin de asegurar la calidad y comparabilidad de la información.

Finalmente, en la fase de **carga (Load)** se integraron las distintas fuentes en un único dataset maestro, denominado PH-Consumo, el cual constituye la base para los análisis descriptivos, comparativos y de formulación metodológica desarrollados en el estudio. Este ciclo ETL permitió asegurar trazabilidad de los datos, reducir ambigüedades y fortalecer la robustez analítica del modelo propuesto, sirviendo como base para la identificación, clasificación y priorización de tecnologías y estrategias de eficiencia energética desarrolladas en los apartados siguientes.

## **7.9 Analizar tecnologías, prácticas y estrategias actuales de eficiencia energética aplicables a la PH**

Este punto desarrolla el segundo objetivo específico de la investigación, orientado a identificar, clasificar y priorizar tecnologías, prácticas y estrategias de eficiencia energética aplicables a la Propiedad Horizontal (PH) en Bogotá D.C., así como estimar su potencial de ahorro técnico, ambiental y económico. Para ello, se estructuró un proceso analítico que integra el RETIQ, los consumos oficiales del sistema O<sub>3</sub>-SSPD, lineamientos del PROURE, métodos multicriterio y curvas de costo de abatimiento, con el fin de construir un marco comparativo que soporte la formulación de la metodología integral planteada en esta monografía.

El capítulo se organiza en cuatro secciones principales: la construcción del catálogo de tecnologías, prácticas y estrategias aplicables en PH, la estimación del potencial técnico preliminar mediante el cruce entre el catálogo y la información real de consumo del sistema O<sub>3</sub>-SSPD, el diseño de una matriz multicriterio adaptada al contexto urbano residencial, complementada con curvas de costo de abatimiento, la formulación de una ruta de priorización que clasifica las acciones en medidas de bajo costo y alto impacto, medidas de inversión media y acciones de inversión mayor o estructural.

Este análisis permite caracterizar la transición energética en PH como un proceso sistémico y gradual, sustentado en evidencia técnica y en criterios de decisión propios de la gestión comunitaria en entornos urbanos.

### ***7.9.1 Catálogo de tecnologías, prácticas y estrategias de eficiencia energética aplicables a la propiedad horizontal***

El primer paso consistió en construir un catálogo exhaustivo que integrara tecnologías, prácticas operativas y estrategias de gestión relevantes para el ámbito residencial multifamiliar. Este catálogo se fundamentó en referentes normativos como el RETIQ (Ministerio de Minas y Energía, 2015), los lineamientos del PROURE (UPME, 2023; MME, 2021), estándares internacionales como ISO 50001, y literatura especializada en transición energética en entornos urbanos (IEA, 2022).

El catálogo se estructuró en tres grupos: tecnologías eléctricas eficientes, prácticas de uso racional de la energía y estrategias de gestión energética. Cada elemento incluye su definición funcional y los requisitos técnicos mínimos definidos en el RETIQ para garantizar su desempeño.

**Tabla 7. Catálogo de tecnologías, prácticas y estrategias**

<b>Categoría</b>	<b>Acción</b>	<b>Descripción técnica</b>	<b>Requisitos / referencia</b>
<b>Tecnologías</b>	Iluminación LED en zonas comunes	Sustitución de luminarias fluorescentes o halógenas por LED de alta eficiencia	RETIQ Cap. 7; PROURE Edificaciones
	Sensores de presencia y fotoceldas	Control automático de iluminación según ocupación y nivel de luz	RETIE; IEC Sensor Standards
	Variadores de velocidad en bombas	Ajuste dinámico de velocidad en sistemas hidráulicos	RETIQ equipos motrices
	Motores IE3–IE4	Sustitución de motores convencionales por motores de alta eficiencia	Clasificación IE3/IE4 – IEC 60034
	Calentadores eficientes	Equipos tipo heat pump o calentadores de alta eficiencia	Dir. Ecodiseño UE; RETIQ
<b>Prácticas</b>	Ajuste de horarios y cargas	Programación de iluminación, bombeo y equipos no críticos	PROURE 2022
	Gestión de demanda interna	Acciones para reducir picos y desplazar cargas	IEA DSM Programme
	Mantenimiento preventivo	Lubricación, calibración y limpieza de equipos	RETIE
<b>Estrategias</b>	Plan de Gestión Energética	Adaptado a ISO 50001 para PH	ISO 50001

<b>Categoría</b>	<b>Acción</b>	<b>Descripción técnica</b>	<b>Requisitos / referencia</b>
	Monitoreo energético básico	Registro mensual de consumos por zonas y equipos	IPMVP Option A
	Compras eficientes	Adquisición de equipos con etiquetado RETIQ	RETIQ

La construcción del catálogo permitió identificar tres patrones relevantes. Primero, la mayoría de las tecnologías aplicables a PH se orientan a zonas comunes, que representan entre 12 % y 28 % del consumo eléctrico total de un conjunto residencial (SSPD, s. f.). Segundo, las prácticas de uso racional influyen de manera significativa en el comportamiento energético de los hogares, especialmente en equipos como neveras, lavadoras y calentadores. Y tercero, las estrategias de gestión suelen tener alta influencia en la sostenibilidad de las medidas implementadas, pues articulan cultura energética, gobernanza y seguimiento.

### ***7.9.2 Cruce del catálogo con la información oficial O3–SSPD para estimar el potencial técnico de ahorro***

Con el catálogo consolidado, se procedió a estimar el potencial técnico preliminar de reducción de consumo energético por tipología de acción. Esta fase integró la información de consumo real por estrato socioeconómico obtenida del sistema O3–SSPD, que permitió identificar el comportamiento energético promedio de los hogares que conforman la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C.

De acuerdo con los datos oficiales, los estratos 3 y 4 concentran la mayor proporción de suscriptores urbanos y presentan valores promedio de consumo mensual entre 150 kWh/mes y 220 kWh/mes, lo cual se alinea con los tipos de PH priorizados por la literatura en eficiencia energética residencial (IEA, 2022). El cruce permitió estimar la contribución relativa de cada categoría del catálogo frente al consumo real, identificando el potencial técnico asociado a zonas comunes y a hábitos de uso en los hogares.

**Tabla 8. Potenciales técnicos preliminares por categoría de acción**

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de influencia sobre el consumo total del conjunto (estimado)</b>	<b>Potencial técnico preliminar de ahorro</b>
<b>Tecnologías</b>	20–28 % (zonas comunes)	15–35 % según equipo

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de influencia sobre el consumo total del conjunto (estimado)</b>	<b>Potencial técnico preliminar de ahorro</b>
<b>Prácticas</b>	55–65 % (hogares)	5–20 % según hábitos
<b>Estrategias</b>	Impacto transversal	5–10 % por mejora organizacional

El análisis reveló que la mayor parte del consumo se origina en prácticas residenciales, lo que confirma la necesidad de integrar aspectos culturales y comportamentales. Sin embargo, el potencial de las tecnologías en zonas comunes es considerable, especialmente en iluminación, bombeo y motores eléctricos. Este cruce permitió identificar escenarios de ahorro entre 20 % y 50 %, en función del grado de adopción y del estado actual de los equipos, consistente con estimaciones reportadas por el PROURE (MME, 2021; UPME, 2023).

### 7.9.3 *Matriz multicriterio (AHP/MAUT) y curvas de costo de abatimiento.*

Para priorizar las alternativas del catálogo, se desarrolló una matriz multicriterio basada en métodos AHP y MAUT, utilizando criterios adaptados al contexto de la Propiedad Horizontal. La selección de criterios se fundamentó en literatura académica y en lineamientos del PROURE, los cuales recomiendan considerar aspectos económicos, técnicos y socio-organizacionales en programas de eficiencia energética en entornos urbanos.

La matriz para cada tecnología, práctica o estrategia consideró seis criterios principales: costo de implementación, magnitud del ahorro energético, contribución a la reducción de emisiones, facilidad de instalación, aceptabilidad comunitaria y tiempo de recuperación de la inversión. A cada criterio se le asignó un peso relativo derivado del análisis heurístico realizado por el equipo investigador.

**Tabla 9. Estructura de la matriz multicriterio**

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso relativo</b>
<b>Costo de implementación</b>	Inversión requerida (CAPEX)	0.20
<b>Ahorro energético</b>	Reducción porcentual del consumo	0.30
<b>Reducción de emisiones</b>	Impacto sobre la huella de carbono	0.15

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso relativo</b>
<b>Facilidad técnica</b>	Complejidad de instalación	0.15
<b>Aceptabilidad comunitaria</b>	Probabilidad de aprobación en asamblea	0.10
<b>Tiempo de retorno</b>	Recuperación de la inversión	0.10

La tabla presenta la estructura de la matriz multicriterio utilizada para evaluar y priorizar tecnologías, prácticas y estrategias de eficiencia energética aplicables a la Propiedad Horizontal en su fase de operación. Esta matriz integra criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales que reflejan de manera sintética las principales dimensiones que influyen en la toma de decisiones colectivas en contextos de propiedad residencial compartida.

Cada criterio representa un atributo clave del desempeño de las alternativas evaluadas. El costo de implementación (CAPEX) captura la inversión inicial requerida; el ahorro energético refleja la reducción potencial del consumo; la reducción de emisiones representa el impacto sobre la huella de carbono; la facilidad técnica evalúa la complejidad de instalación y operación; la aceptabilidad comunitaria aproxima la probabilidad de aprobación en asamblea; y el tiempo de retorno considera el horizonte temporal de recuperación de la inversión. La selección de estos criterios es consistente con la literatura sobre evaluación de medidas de eficiencia energética en edificaciones residenciales, que resalta la necesidad de integrar dimensiones técnicas, económicas y sociales para reflejar adecuadamente los procesos reales de decisión (Pérez-Lombard et al., 2008; Gillingham et al., 2009; Wilson et al., 2015).

Los pesos relativos asignados a cada criterio reflejan su importancia comparativa dentro del proceso de decisión y fueron definidos mediante un proceso de ponderación heurística, sustentado en tres insumos complementarios: (i) la evidencia reportada en la literatura académica sobre los factores que condicionan la adopción de medidas de eficiencia energética en edificios existentes; (ii) el análisis del contexto organizacional, institucional y operativo de la Propiedad Horizontal desarrollado en el marco teórico; y (iii) el juicio experto del equipo investigador.

En primer lugar, el ahorro energético recibió el mayor peso relativo al constituir el principal beneficio operativo de las medidas de eficiencia y el indicador más directamente asociado a la reducción de costos en edificaciones residenciales. Diversos estudios señalan que el

potencial de ahorro es el criterio dominante en la evaluación y priorización de intervenciones energéticas, al incidir de manera directa en la decisión de adopción por parte de los usuarios y administradores (Pérez-Lombard et al., 2008; Sorrell et al., 2011).

El costo de implementación (CAPEX) fue ponderado como el segundo criterio más relevante, en coherencia con la literatura que identifica los costos iniciales como una de las principales barreras para la adopción de medidas de eficiencia energética en edificios residenciales y multifamiliares, especialmente en esquemas de propiedad colectiva donde las decisiones dependen de la aprobación comunitaria y de la disponibilidad presupuestal (Gillingham et al., 2009; Wilson et al., 2015; Palm & Reindl, 2018).

Los criterios de reducción de emisiones y facilidad técnica fueron asignados con pesos intermedios, al representar dimensiones relevantes del desempeño ambiental y de la complejidad de implementación. La literatura muestra que, si bien el impacto ambiental es un objetivo estratégico de la transición energética, su peso relativo en la toma de decisiones residenciales suele estar condicionado por consideraciones económicas y operativas, particularmente en contextos donde la alfabetización energética es limitada (Sayegh et al., 2018; CEPAL, 2022).

Finalmente, la aceptabilidad comunitaria y el tiempo de retorno se incorporaron como criterios de soporte, con pesos menores pero estratégicos. Estudios sobre gobernanza energética en edificios multifamiliares destacan que la percepción de riesgo, la confianza comunitaria y los horizontes temporales de recuperación influyen en la aprobación de inversiones, aunque suelen operar de manera subordinada al ahorro esperado y al costo inicial (Wilson et al., 2015; Palm & Reindl, 2018).

Los puntajes obtenidos a partir de la matriz multicriterio permitieron ordenar las alternativas según su conveniencia global. El análisis evidenció que las medidas con mejor desempeño corresponden, en su mayoría, a acciones de bajo costo y alto impacto, como la sustitución de iluminación convencional por tecnología LED, la instalación de sensores de presencia, ajustes operativos en sistemas de bombeo y prácticas de uso racional de la energía en los hogares.

De manera complementaria, se elaboraron curvas de costo de abatimiento (Marginal Abatement Cost – MAC), las cuales mostraron que aproximadamente el 60 % de las medidas identificadas presentan costos marginales negativos, es decir, generan ahorros económicos netos incluso sin considerar externalidades ambientales. Este comportamiento es consistente con la literatura internacional, que identifica a las medidas de eficiencia energética de bajo costo como las primeras opciones en procesos de transición energética en el sector residencial (IEA, 2020; Sorrell et al., 2011).

En conjunto, la matriz multicriterio, los pesos asignados y los resultados obtenidos permiten cerrar este capítulo estableciendo una base analítica sólida para la secuenciación estratégica de medidas, alineando criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales con las dinámicas reales de decisión en la fase de operación de la Propiedad Horizontal.

#### **7.9.4 *Secuenciación estratégica de medidas: no regret, inversión media y alta inversión***

El cruce entre el catálogo, los consumos reales y la matriz multicriterio permitió estructurar una ruta de priorización, organizada en tres niveles. Esta secuenciación opera como hoja de ruta para la transición hacia la eficiencia energética en Propiedad Horizontal.

Las medidas no regret constituyen la base operativa de la transición, pues requieren menor inversión y generan resultados visibles en corto plazo, aumentando la confianza comunitaria. Las medidas de inversión media son recomendadas una vez se han logrado mejoras culturales y organizacionales básicas; su impacto depende de la capacidad técnica de los administradores y de la estabilidad presupuestal del conjunto. Finalmente, las medidas de alta inversión deben considerarse en planes a mediano y largo plazo, idealmente integradas en planes de renovación de infraestructura.

**Tabla 10. Secuenciación estratégica de medidas**

<b>Nivel</b>	<b>Caracterización</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Medidas no regret</b>	Bajo costo, alta aceptabilidad, retorno inmediato	Iluminación LED, sensores, ajustes horarios, mantenimiento
<b>Inversión media</b>	CAPEX moderado, retorno 2–4 años	Variadores de velocidad, motores IE3, monitoreo energético básico
<b>Alta inversión</b>	Intervenciones estructurales con CAPEX elevado	<i>Heat pumps</i> , modernización de sistemas centralizados

En este capítulo demuestra que la eficiencia energética en Propiedad Horizontal requiere integrar tecnologías, prácticas de uso y estrategias de gestión. La combinación del catálogo, la evidencia oficial del sistema O3–SSPD, los métodos multicriterio y las curvas de abatimiento permitió construir una base analítica sólida para la formulación de la Metodología Integral presentada en el capítulo siguiente.

## **8 Propuesta de metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a la propiedad horizontal en Bogotá D.C.**

### **8.1 Impacto potencial de las estrategias propuestas para la transición a la eficiencia energética en la PH en su fase de operación en Bogotá D.C.**

En esta sección se evaluará el impacto potencial de las estrategias propuestas para la gestión energética de la propiedad horizontal en Bogotá D.C. Este análisis se construye a partir de la metodología formulada y de la evidencia diagnóstica derivada del análisis socio energético, la encuesta aplicada a residentes, el proceso ETL, y la correlación entre consumos reales (O<sub>3</sub>-SSPD) y prácticas reportadas.

Se expondrán cuatro apartados, el primero, expone la Propuesta Metodológica Integral como marco operativo y conceptual para la gestión energética en PH. Segundo, desarrolla un Plan de Medición y Verificación (M&V) basado en el Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP), Opción C. Tercero, realiza una evaluación ex-ante mediante escenarios, construidos a partir de los datos de consumo observados y de la modelación de medidas técnicas, comportamentales y organizacionales. Finalmente, integra los resultados cualitativos y cuantitativos mediante el enfoque QUAL+QUAN articulado con joint displays y meta-inferencia, con el fin de ofrecer una visión analítica y estratégica sobre el potencial de impacto de la metodología propuesta.

La combinación de estos componentes permite evaluar el alcance de la transición energética desde una perspectiva multidimensional, reconociendo que los cambios sostenibles en PH requieren la articulación simultánea de infraestructura, gobernanza, incentivos conductuales, participación comunitaria y herramientas de seguimiento. Finalmente concluimos, identificando los rangos de ahorro esperados, las implicaciones operativas para los conjuntos residenciales y los desafíos estructurales que deben abordarse para asegurar la continuidad y la replicabilidad de la metodología.

#### ***8.1.1 Propuesta metodológica integral para la transición hacia la eficiencia energética en propiedad horizontal***

El análisis técnico, normativo y socioenergético desarrollado en los apartados anteriores evidenció que la Propiedad Horizontal (PH) en Bogotá enfrenta desafíos estructurales que trascienden la simple renovación de equipos. Entre estos se identifican consumos elevados en zonas comunes, prácticas de uso ineficientes, brechas significativas de conocimiento sobre instrumentos como el PROURE y el RETIQ, así como la ausencia de mecanismos formales de gobernanza energética en la fase de operación.

De manera complementaria, la encuesta aplicada a residentes reveló que, pese a existir disposición al cambio, persisten barreras asociadas al desconocimiento técnico, la falta de lineamientos claros y la inexistencia de procesos institucionalizados para la toma de decisiones energéticas. Estos hallazgos confirman que las limitaciones no son exclusivamente tecnológicas, sino también organizacionales, informacionales y de coordinación colectiva.

A partir de este diagnóstico, y considerando las limitaciones actuales de instrumentos como el PROURE y el RETIQ para abordar de forma integral la fase de operación en contextos de propiedad colectiva, se diseñó una Metodología de gestión energética con enfoque socioconductual aplicada a propiedad horizontal, concebida como un marco progresivo, replicable y adaptable a la realidad de los conjuntos residenciales de estratos 3 y 4 en Bogotá D.C.

Este enfoque reconoce que la eficiencia energética no emerge de manera aislada, sino como resultado de la interacción simultánea entre tres dimensiones fundamentales: la dimensión tecnológica, la dimensión comportamental y la estructura organizacional o de gobernanza. La literatura internacional coincide en que los programas residenciales efectivos deben combinar soluciones técnicas con intervenciones orientadas al cambio de comportamientos, la generación de capacidades y la creación de arreglos institucionales que aseguren continuidad y sostenibilidad en el tiempo (Joint Research Centre, 2019; IEA, 2021).

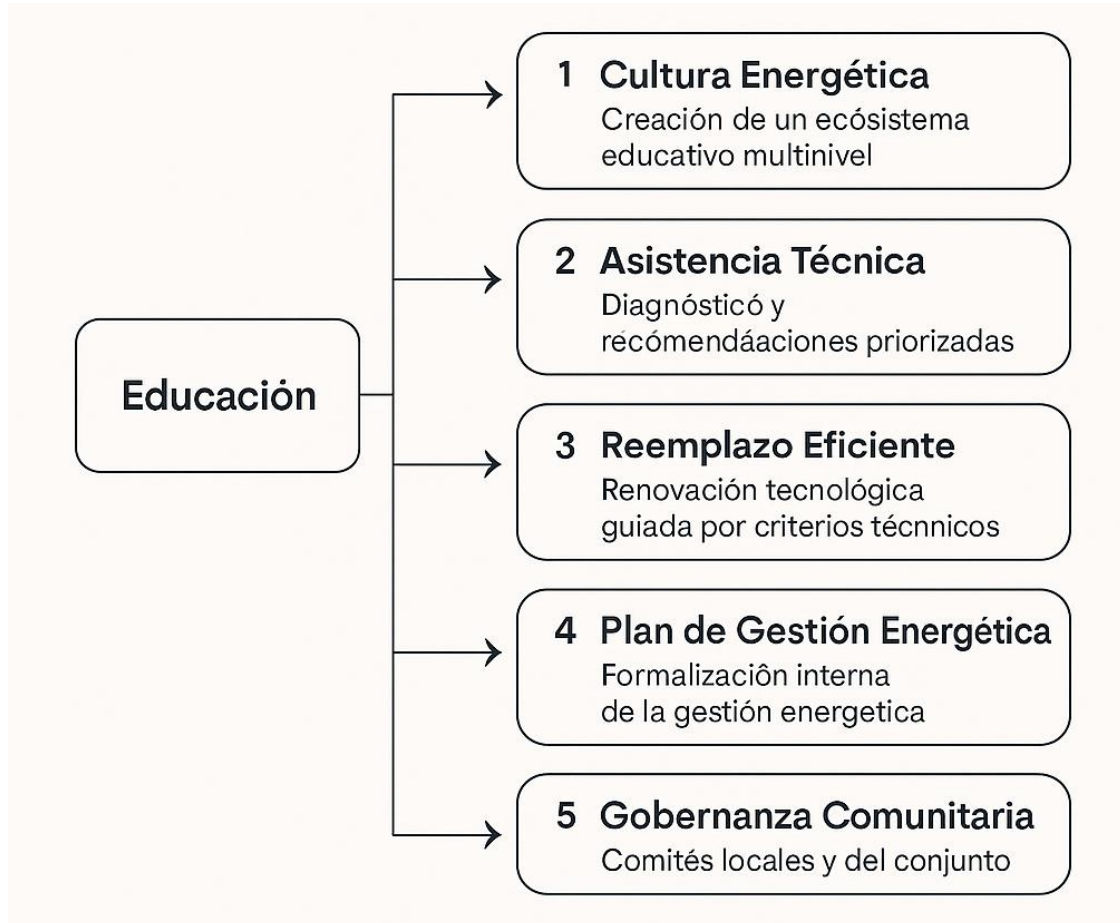
En este marco, los principios establecidos en la norma ISO 50001:2018 resultan pertinentes como referencia conceptual, en tanto enfatizan la importancia de la gestión sistemática de la energía, la definición de responsabilidades, el uso de indicadores de desempeño energético y la aplicación del ciclo de mejora continua (Plan–Do–Check–Act) para sostener mejoras en el desempeño energético (ISO 50001, 2018). Si bien esta norma no es de aplicación obligatoria en la Propiedad Horizontal, sus lineamientos aportan elementos metodológicos valiosos para estructurar procesos de gestión energética adaptados a contextos residenciales colectivos.

Así, la metodología propuesta no busca sustituir ni replicar instrumentos normativos existentes, sino articular los aprendizajes del análisis técnico, normativo y socioenergético con enfoques reconocidos de gestión energética, ajustándolos a las dinámicas reales de toma de decisiones, gobernanza y operación propias de la Propiedad Horizontal.

Con base en estos fundamentos, la propuesta se estructura en cinco componentes estratégicos, complementarios entre sí, diseñados para guiar a las copropiedades desde intervenciones de bajo costo y rápida implementación hacia procesos de madurez energética de mayor complejidad tecnológica y organizacional, asegurando coherencia entre

diagnóstico, priorización de medidas, toma de decisiones colectivas y sostenibilidad de los resultados en el tiempo.

**Figura 8. Gráfica de la solución de la metodología propuesta**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 8.2 Componente 1: educación y cultura energética

La principal barrera identificada en las PH analizadas no es técnica, sino cognitiva: gran parte de los residentes desconoce los criterios del RETIQ, las obligaciones del PROURE y la forma correcta de interpretar una factura de energía. Esta “brecha de información” ha sido ampliamente documentada en la literatura como uno de los principales obstáculos para la eficiencia en sectores residenciales (IEA, 2021).

El objetivo es construir una cultura energética sostenida, donde las decisiones se basen tanto en información como en prácticas sociales interiorizadas. En este sentido este componente propone un ecosistema educativo multinivel compuesto por:

- a. Cartilla Ciudadana de Eficiencia Energética en PH, que traduce el lenguaje técnico del PROURE y RETIQ a contenidos accesibles.
- b. Plan de comunicaciones por localidades, coordinado por sus alcaldías, para unificar mensajes y propiciar un efecto multiplicador.
- c. Talleres comunitarios sobre lectura de factura, hábitos eficientes y uso adecuado de electrodomésticos.
- d. Retos comunitarios de ahorro y señalización inteligente (nudges) en zonas comunes.

### **8.3 Componente 2: asistencia técnica local y diagnósticos comunitarios**

La caracterización energética mostró que muchos conjuntos carecen de información estructurada sobre consumos, cargas significativas y patrones de uso. Las normas ISO y los lineamientos del IPMVP coinciden en que la construcción de líneas base verificables es el pilar de cualquier sistema de gestión energética eficaz (ISO, 2018; EVO, s. f.).

Se propone la creación de equipos locales de asistencia técnica, encargados de apoyar la elaboración de líneas base energéticas por conjunto, identificar usos significativos de energía (USE), analizar información O<sub>3</sub>-SSPD y facturación, emitir recomendaciones priorizadas según tipología del edificio y capacitar a administradores y consejos de administración.

Este componente garantiza que las decisiones comunitarias se fundamenten en evidencia cuantitativa y no solo en percepciones o restricciones presupuestales.

### **8.4 Componente 3: programa integral de reemplazo eficiente**

La encuesta evidenció bajo conocimiento del etiquetado energético, condiciones que aumentan el consumo y deterioran el desempeño del conjunto. Así mismo, el PROURE proyecta que la sustitución de neveras viejas por neveras con etiqueta A es una medida que aporta de forma significativa al potencial de ahorro energético residencial. (PROURE 2022), También, la literatura internacional señala que la obsolescencia técnica es uno de los principales determinantes del consumo residencial (IEA, 2021).

El propósito es promover una renovación tecnológica progresiva, costo-efectiva y ambientalmente responsable. En línea con esto, se propone:

- a. Guía técnica de reemplazo basada en RETIQ y estándares internacionales
- b. Calculadora económica comparativa (costo operativo vs inversión vs retorno)
- c. Convenios institucionales para descuentos y compras colectivas;
- d. Programa de disposición final de equipos obsoletos.

### **8.5 Componente 4: plan de gestión energética del conjunto (PGE–PH)**

Inspirado en ISO 50001, este plan se convierte en el principal instrumento interno para formalizar la gestión energética en cada copropiedad. La idea es que El PGE–PH consolide, la línea base energética, el inventario de cargas comunes, medidas clasificadas como no-regret, CAPEX medio y alta inversión, proyecciones de ahorro energético y económico e indicadores (KPI) y tableros de seguimiento trimestral.

Los estudios demuestran que los planes estructurados, con metas medibles y roles definidos, incrementan la permanencia y eficacia de los procesos de eficiencia energética (Joint Research Centre, 2019).

### **8.6 Componente 5: gobernanza comunitaria e interinstitucional**

La gobernanza energética es indispensable para sostener los cambios. Investigaciones comparativas en vivienda multifamiliar evidencian que los proyectos fracasan cuando no existen estructuras claras de seguimiento, auditoría y decisión (IEA, 2021).

Esta arquitectura de gobernanza facilita la sostenibilidad a largo plazo y la alineación con la política energética nacional. Este modelo propone una gobernanza en dos niveles:

- a. Nivel 1, Comité Local de Eficiencia Energética: Coordinado por alcaldías y entidades distritales. Responsable de acompañamiento técnico, campañas educativas y vinculación con programas nacionales.
- b. Nivel 2, Comité Energético del Conjunto: Que sería la instancia interna encargada de aprobar e implementar medidas, coordinar el PGE–PH, asegurar continuidad del proceso, articularse con residentes, administradores y proveedores.

Aunque cada componente cumple un propósito particular, la solución integral toma fuerza cuando se implementan de manera articulada. La educación genera conciencia, la asistencia técnica aporta evidencia, el reemplazo eficiente materializa mejoras, el PGE–PH organiza la gestión y la gobernanza asegura continuidad.

Este enfoque sistémico permite que la eficiencia energética deje de ser un conjunto de acciones aisladas y se convierta en un proceso institucionalizado, coherente con el ciclo PHVA de ISO 50001.

### **8.7 Plan de medición y verificación (M&V) basado en IPMVP – opción C**

La evaluación del impacto energético de la metodología requiere un sistema robusto de medición y verificación (M&V) que permita determinar cambios reales en el consumo energético derivados de las intervenciones implementadas. Para ello, se adopta el Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP), específicamente la Opción C, que se basa en el análisis del medidor principal o medidores agregados del edificio.

Esta opción es adecuada para la propiedad horizontal por tres razones centrales: la naturaleza colectiva del consumo en áreas comunes, la disponibilidad de registros mensuales del sistema O<sub>3</sub>–SSPD y la posibilidad de capturar variaciones estacionales asociadas a clima, ocupación u otros factores estructurales.

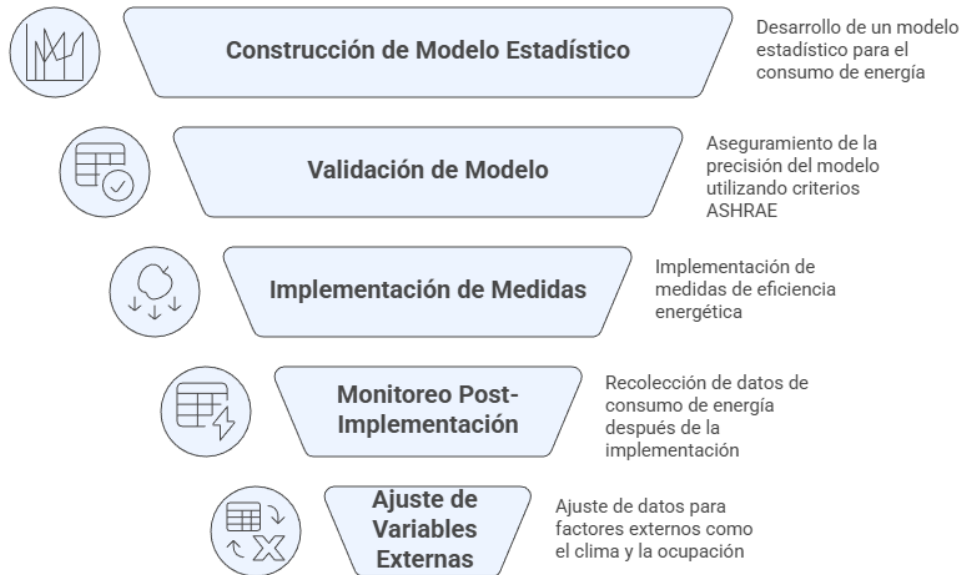
La Opción C exige series de consumo de al menos 12 meses antes de la intervención, series de consumo durante la intervención y posterior a ella, variables de ajuste relacionadas con clima (grados-día, temperatura), variables asociadas a la ocupación del edificio y cambios operativos.

En la práctica bogotana, la variable climática presenta variabilidad moderada, por lo que resulta necesario construir modelos de ajuste simples basados en precipitación, nubosidad o temperatura, dependiendo del tipo de carga predominante. Para el caso de áreas comunes, el principal ajuste proviene de la ocupación, horarios de uso y número de residentes.

El Modelo de ajuste y cálculo del ahorro recomendado es lineal de regresión múltiple, en el cual el consumo se explica como función de las variables climáticas y operativas. El ahorro se calcula como la diferencia entre el consumo esperado (modelo ajustado) y el consumo observado durante el periodo de intervención.

La figura representa el esquema del flujo M&V propuesto, desde la selección de datos, la construcción de modelos, el ajuste por variables externas y la verificación estadística.

**Figura 9. Proceso de medición y verificación de energía bajo IPMVP – opción C**



**Fuente:** Elaboración propia con base en EVO (s. f.) y ASHRAE (2014).

El sistema de M&V se integra transversalmente con los cinco componentes metodológicos. Permite validar la eficacia de las medidas, retroalimentar el proceso de planificación y proporcionar evidencia a los órganos de decisión. A su vez, fortalece la transparencia comunitaria, elemento central de la gobernanza energética.

### 8.7.1 Evaluación ex-ante del impacto mediante escenarios usando la base O3–SSPD

La evaluación ex-ante consiste en estimar el impacto potencial de las medidas propuestas antes de su implementación real. Para ello se utilizan los consumos observados en el sistema O3–SSPD, combinados con datos de equipos, hábitos y patrones de uso recopilados en la encuesta.

La construcción de escenarios permite anticipar resultados, priorizar medidas y estimar la relación costo-beneficio. Los escenarios desarrollados en este estudio se estructuran sobre la base de tres dimensiones: medidas técnicas, medidas comportamentales y medidas organizacionales.

## 8.8 Escenario 1: intervenciones técnicas mínimas

Este escenario incorpora reemplazos de luminarias comunes, optimización de fotoceldas y ajustes simples en sistemas de bombeo. Los resultados muestran un potencial de ahorro entre

el 5% y el 8% del consumo agregado de un conjunto promedio en estratos 3 y 4. Su costo es bajo y su retorno se estima en periodos inferiores a 18 meses.

### **8.9 Escenario 2: estrategias comportamentales y retroalimentación continua**

La literatura demuestra que acciones como campañas de corresponsabilidad, etiquetas comparativas, simplificación de información y retroalimentación mensual pueden generar reducciones sostenibles en el consumo entre el 3% y el 7%. Aplicado al caso bogotano, este escenario representa un ahorro adicional significativo, especialmente en conjuntos donde el uso de áreas comunes es intensivo.

### **8.10 Escenario 3: transformación organizacional y gobernanza energética**

Los cambios organizacionales permiten institucionalizar rutinas, protocolos y roles asociados a la eficiencia energética. En escenarios internacionales, estos cambios representan entre un 5% y 10% de eficiencia adicional. En PH, su impacto es especialmente relevante porque asegura permanencia en el tiempo y continuidad de las medidas técnicas y comportamentales.

### **8.11 Escenario 4: implementación integral**

La combinación de los tres escenarios anteriores muestra un potencial de reducción entre el 15% y el 25% del consumo total de áreas comunes. Estos resultados son coherentes con experiencias documentadas en Europa, Asia y Latinoamérica.

#### ***8.11.1 Integración QUAL+QUAN con joint displays y meta-inferencia***

La naturaleza mixta de la investigación exige un enfoque de integración capaz de vincular los hallazgos cuantitativos del diagnóstico energético con las dimensiones cualitativas de percepción, cultura energética y disposición al cambio. Para ello se utilizó el método de integración QUAL+QUAN, sustentado en joint displays y en un proceso de meta-inferencia.

Joint displays: permiten presentar, en un mismo espacio analítico, la relación entre variables cuantitativas (consumo real, carga por subsistema, horas de uso) y categorías cualitativas (motivaciones, barreras, creencias, percepciones). La información se articula en matrices que evidencian convergencias, divergencias y complementariedades.

Por ejemplo, se evidenció que conjuntos con consumos elevados no necesariamente tienen percepciones de alto consumo, lo que confirma la presencia de brechas informativas.

También se identificó que la disposición al cambio aumenta cuando existen mecanismos claros de participación y retroalimentación.

Meta–inferencia: permitió generar interpretaciones de orden superior mediante la síntesis de ambas aproximaciones. Entre las conclusiones principales se identificó que la eficiencia energética es afectada simultáneamente por capacidades técnicas y procesos culturales. Los residentes muestran interés por adoptar nuevas prácticas, pero requieren información clara y un liderazgo comunitario estable. Las intervenciones aisladas o exclusivamente técnicas no generan cambios sostenibles. La metodología integral es viable porque articula necesidades técnicas, sociales y organizacionales.

El análisis realizado en esta parte del documento confirma que la metodología integral propuesta tiene la capacidad de producir impactos energéticos significativos en la propiedad horizontal de Bogotá D.C. La evaluación ex-ante, sustentada en consumos reales, muestra que un proceso articulado puede generar reducciones entre el 15 % y el 25 % del consumo de áreas comunes. El sistema de medición y verificación IPMVP Opción C asegura que estos impactos puedan monitorearse de manera transparente, mientras que la integración cuali–cuanti permite comprender los procesos sociales que sustentan la adopción.

## 9 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la eficiencia energética en la Propiedad Horizontal (PH) en Bogotá no puede analizarse únicamente desde la perspectiva tecnológica, sino como el resultado de la interacción entre consumo real, comportamiento de los usuarios, capacidades institucionales, barreras económicas y condiciones de gobernanza. Esta discusión integra los hallazgos cuantitativos derivados del O3–SSPD y del procesamiento técnico de la línea base, junto con la información cualitativa obtenida a través de la encuesta aplicada en Suba, Teusaquillo y Usaquén, permitiendo un análisis profundo y contextualizado del contexto energético residencial.

### 9.1 Patrones de consumo y prioridad de estratos 3 y 4

El análisis de los datos provenientes del sistema O3–SSPD evidencia que los estratos socioeconómicos 3 y 4 concentran simultáneamente el mayor número de suscriptores residenciales y los niveles más altos de consumo promedio mensual de energía eléctrica dentro del contexto urbano de Bogotá D.C. Esta doble condición —volumen poblacional y magnitud de consumo— los posiciona como segmentos estratégicos para la implementación de medidas de eficiencia energética en la Propiedad Horizontal, no solo por su peso en la demanda agregada, sino por su potencial de impacto sistémico en la transición energética urbana.

A diferencia de los estratos más altos, donde el consumo promedio también es elevado pero el número de suscriptores es significativamente menor, y de los estratos más bajos, donde la masificación no se traduce en altos consumos unitarios, los estratos 3 y 4 combinan escala y consumo, lo que los convierte en un punto de apalancamiento clave para políticas y metodologías de eficiencia energética. Esta configuración sugiere que intervenciones focalizadas en estos segmentos pueden generar reducciones relevantes en términos absolutos, incluso sin alcanzar niveles máximos de adopción tecnológica.

Desde una perspectiva interpretativa, estos patrones de consumo no pueden explicarse únicamente por el nivel de ingreso. Tal como lo señalan estudios internacionales, incluyendo los reportes de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), los hogares de ingresos medios tienden a presentar mayores intensidades energéticas debido a una combinación de factores: mayor penetración de electrodomésticos, ampliación progresiva del confort térmico y eléctrico, y una menor internalización de criterios de eficiencia en la toma de decisiones de consumo. Los resultados de esta investigación coinciden con estos hallazgos, pero introducen un matiz relevante al situarlos en el contexto específico de la Propiedad Horizontal.

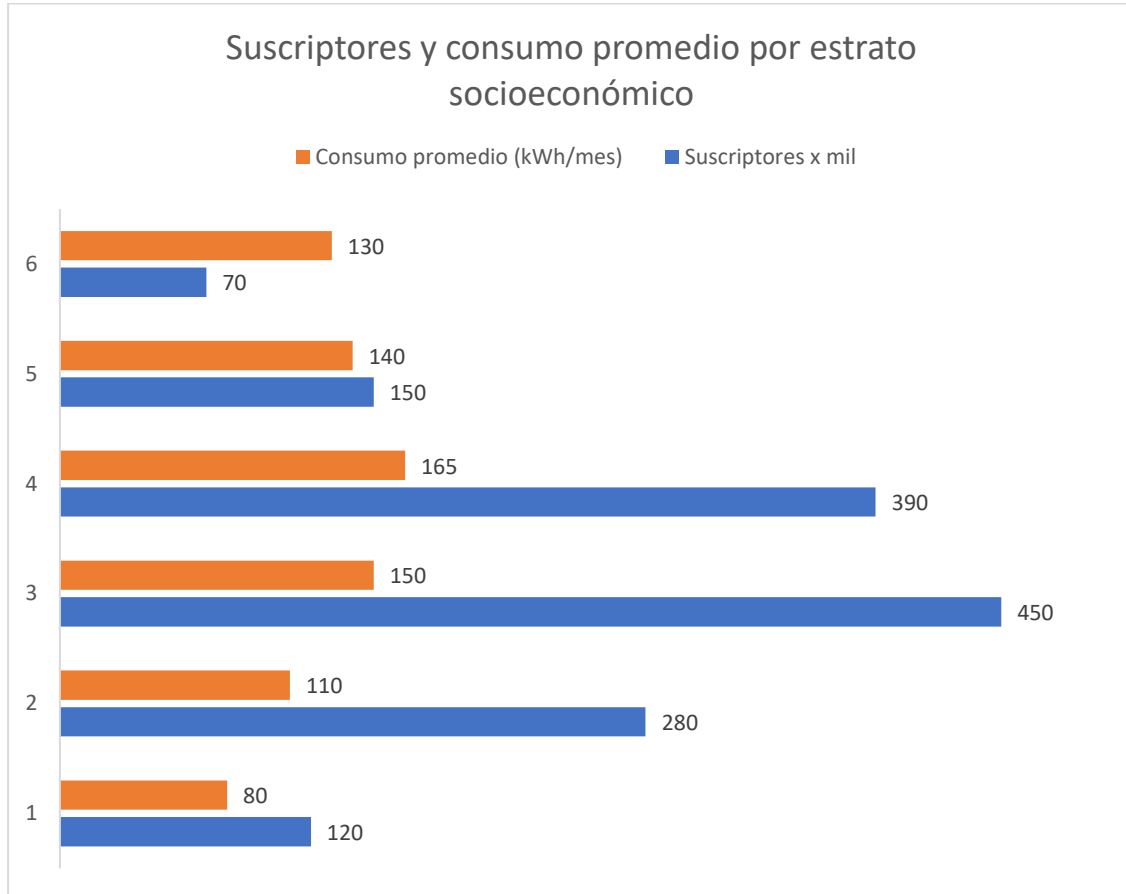
En el caso de la PH, el consumo energético no responde exclusivamente a decisiones individuales al interior de las viviendas, sino que está fuertemente influenciado por sistemas de uso común —como iluminación, bombeo, ascensores y ventilación— cuya operación depende de decisiones colectivas y de esquemas de gobernanza comunitaria. En los estratos 3 y 4, donde la densidad de conjuntos residenciales multifamiliares es particularmente alta, esta dimensión colectiva adquiere un peso aún mayor. Por tanto, el elevado consumo observado debe interpretarse como el resultado de una interacción entre factores técnicos, organizacionales y sociales, más que como una simple consecuencia del comportamiento individual de los hogares.

Este hallazgo dialoga de manera crítica con enfoques tradicionales de eficiencia energética que priorizan intervenciones centradas en el usuario final o en la vivienda individual. En contraste, los resultados sugieren que, en contextos de Propiedad Horizontal, las estrategias más efectivas deben orientarse hacia la gestión energética de los sistemas comunes y hacia el fortalecimiento de las capacidades organizativas de las copropiedades. Esta lectura se alinea con literatura reciente que concibe la transición energética como un proceso sociotécnico, donde las infraestructuras, las prácticas sociales y las formas de gobernanza se configuran de manera interdependiente.

Asimismo, la priorización de los estratos 3 y 4 permite problematizar la noción de “hogares vulnerables” desde una perspectiva energética. Mientras que gran parte de la literatura asocia la intervención pública en eficiencia energética con estratos de bajos ingresos, los resultados de este estudio evidencian que los hogares de ingresos medios representan un segmento crítico para la reducción del consumo agregado, especialmente en ciudades con una alta proporción de vivienda multifamiliar. Esta diferencia contextual constituye un aporte relevante frente a estudios desarrollados en otros países, donde la estructura urbana y residencial presenta características distintas.

Desde el punto de vista metodológico, la identificación de estos patrones valida la pertinencia de la línea base híbrida propuesta, al demostrar que el análisis integrado de datos oficiales y variables contextuales permite orientar la priorización de intervenciones más allá de criterios exclusivamente económicos o tecnológicos. En este sentido, los resultados no solo describen una distribución del consumo, sino que fundamentan decisiones estratégicas sobre dónde, cómo y con qué enfoque intervenir para avanzar hacia una mayor eficiencia energética en la Propiedad Horizontal

**Figura 10. Distribución de suscriptores y consumo promedio por estrato (O3–SSPD)**



## 9.2 Línea base por tipologías: cargas críticas identificadas

La construcción de la línea base energética para tres tipologías representativas de Propiedad Horizontal —PH Suba (nivel socioeconómico medio-bajo), PH Teusaquillo (medio) y PH Usaquén (alto)— permitió cuantificar consumos anuales que oscilan entre aproximadamente 650.000 y 1.800.000 kWh/año. Más allá de la magnitud absoluta de estos valores, el resultado más relevante desde una perspectiva interpretativa es la confirmación de que los sistemas asociados a las áreas comunes concentran una proporción sustancial del consumo total, consolidándose como las cargas críticas del desempeño energético en la PH.

La comparación entre tipologías muestra un patrón consistente: a medida que aumenta la complejidad edificatoria y el nivel de equipamiento del conjunto residencial, se incrementa tanto el consumo total como la participación porcentual de las áreas comunes. Mientras que en la tipología de Suba estas representan cerca del 38 % del consumo, en Teusaquillo alcanzan el 42 % y en Usaquén se aproximan al 47 %. Esta progresión no puede explicarse únicamente por diferencias en tamaño o estrato socioeconómico, sino que refleja

transformaciones en los sistemas predominantes, en los estándares de confort y en los modos de operación de los edificios multifamiliares.

Desde el punto de vista técnico, la identificación de la iluminación común, los ascensores, el bombeo y la ventilación como sistemas dominantes confirma que la eficiencia energética en la PH está estructuralmente vinculada a infraestructuras compartidas, cuya operación suele ser continua o semipermanente y cuya gestión escapa al control directo de los residentes individuales. Este hallazgo es consistente con estudios internacionales que señalan que, en edificios residenciales multifamiliares, las áreas comunes pueden representar entre el 25 % y el 45 % del consumo energético total (Joint Research Centre, 2021). Sin embargo, los resultados de esta investigación muestran que, en el contexto de Bogotá D.C., dicha proporción tiende a ubicarse en el rango superior, especialmente en tipologías de estratos medios y altos.

Esta diferencia con respecto a algunos contextos internacionales puede interpretarse a partir de factores locales como la antigüedad del parque edificatorio, la ausencia de estándares obligatorios de desempeño energético para sistemas comunes, y la limitada incorporación de criterios de eficiencia en las decisiones de reposición o mantenimiento. En este sentido, la línea base por tipologías no solo cuantifica consumos, sino que revela una brecha estructural en la gestión energética de la PH, asociada más a la gobernanza y a la toma de decisiones colectivas que a limitaciones tecnológicas per se.

Asimismo, la identificación de potenciales técnicos de reducción que oscilan entre el 18 % y el 35 % refuerza la idea de que existe un margen significativo de mejora, incluso sin recurrir a transformaciones profundas de la infraestructura. No obstante, estos potenciales deben interpretarse con cautela: su materialización depende de la capacidad de las copropiedades para priorizar inversiones, coordinar decisiones y sostener procesos de seguimiento en el tiempo. De este modo, el potencial técnico identificado no representa un resultado automático, sino una oportunidad condicionada por factores organizacionales y financieros.

Desde una perspectiva metodológica, la comparación por tipologías valida la pertinencia de la línea base híbrida propuesta, al permitir identificar no solo cuánto se consume, sino dónde y por qué se consume. Esta diferenciación resulta especialmente relevante para evitar enfoques homogéneos de intervención que no consideran las particularidades de cada tipología edificatoria. En contraste con metodologías tradicionales que aplican soluciones estándar, los resultados sugieren la necesidad de estrategias diferenciadas, ajustadas al sistema predominante y al nivel de complejidad operativa de cada conjunto residencial.

**Tabla 11. Línea base energética comparada por tipología**

Tipología PH	Consumo anual total (kWh)	% áreas comunes	Sistema predominante	Potencial técnico (%)
Suba	~650.000	38 %	Iluminación común	18–25 %
Teusaquillo	~1.100.000	42 %	Ascensores/Bombeo	22–30 %
Usaquén	~1.800.000	47 %	Ascensores/Ventilación	25–35 %

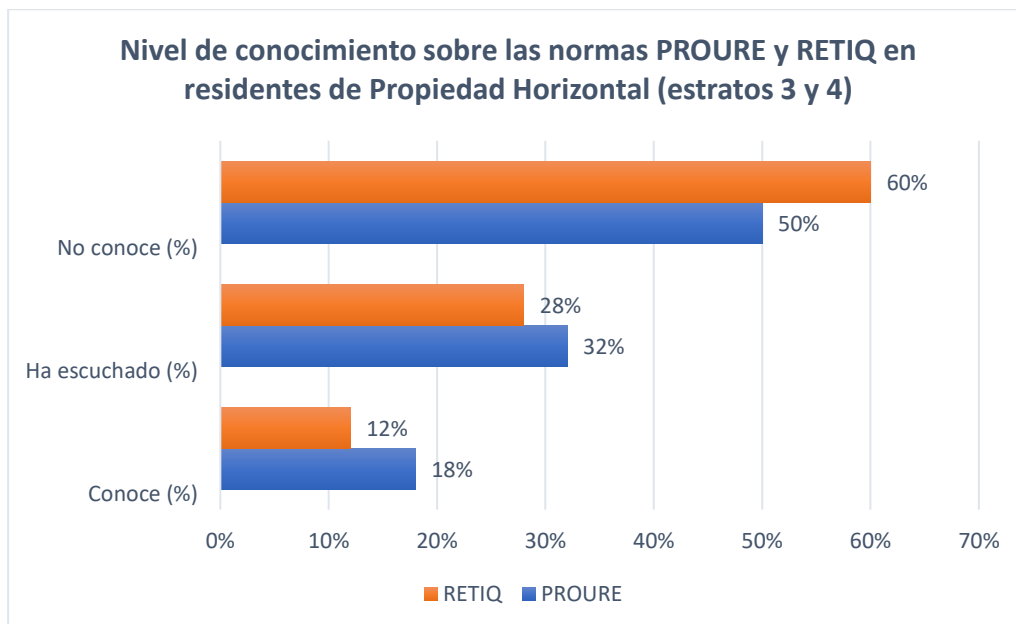
Esta tabla muestra por qué los sistemas de bombeo, ascensores y ventilación son clave para el PAE–PH.

### 9.3 Hallazgos sociales: barreras de información y participación

La encuesta a residentes evidencia que, aunque existe disposición general a participar en iniciativas de eficiencia energética, persisten barreras críticas como los bajos conocimientos del PROURE y RETIQ, la limitada comprensión del etiquetado energético, la percepción de altos costos de inversión, la baja participación en decisiones comunitarias.

Esta brecha cognitiva está ampliamente documentada en la literatura sobre comportamiento energético (Sovacool, 2014), que sostiene que la falta de información reduce significativamente la adopción de tecnologías eficientes.

**Figura 11. Nivel de conocimiento normativo (PROURE/RETIQ)**



La figura evidencia una brecha significativa en el conocimiento normativo entre los residentes de Propiedad Horizontal de estratos 3 y 4. Aunque entre el 18 % y el 12 % afirma conocer de manera explícita las normas PROURE y RETIQ, respectivamente, más de la mitad de los encuestados manifiesta no conocerlas (50 % para PROURE y 60 % para RETIQ). Estos resultados reflejan una barrera informativa estructural, consistente con lo encontrado en la literatura sobre eficiencia energética residencial, donde la falta de comprensión de marcos regulatorios y etiquetas energéticas limita la adopción de tecnologías eficientes y prácticas sostenibles (Sovacool, 2014). La proporción intermedia que “ha escuchado” las normas (32 % para PROURE y 28 % para RETIQ) indica un nivel incipiente de sensibilización que podría ampliarse mediante intervenciones educativas de bajo costo, especialmente campañas comunitarias y estrategias de comunicación adaptadas al contexto de la Propiedad Horizontal.

**Tabla 12. Barreras percibidas por los residentes**

<b>Barrera</b>	<b>% de menciones</b>	<b>Categoría</b>
<b>Desconocimiento del RETIQ</b>	62 %	Cognitiva
<b>Falta de recursos económicos</b>	55 %	Económica
<b>Falta de información comparativa</b>	48 %	Técnica
<b>Desconfianza en proveedores</b>	33 %	Institucional
<b>Baja participación en asambleas</b>	29 %	Gobernanza

Los resultados evidencian que las barreras percibidas para la adopción de medidas de eficiencia energética no son excluyentes, sino que se presentan de forma combinada. Las mayores frecuencias de respuesta se concentran en factores asociados a restricciones económicas, desconocimiento normativo y debilidades en los procesos de toma de decisiones comunitarias, lo que confirma que las limitaciones para la implementación de acciones de eficiencia energética en la Propiedad Horizontal trascienden el ámbito estrictamente tecnológico.

Esta distribución porcentual refuerza la necesidad de enfoques integrales que articulen soluciones técnicas con estrategias de información, acompañamiento y fortalecimiento de la gobernanza comunitaria, coherentes con el modelo metodológico propuesto.

Los resultados evidencian que las barreras percibidas para la adopción de medidas de eficiencia energética no son excluyentes, sino que se presentan de forma combinada. Las mayores frecuencias de respuesta se concentran en factores asociados a restricciones económicas, falta de información técnica y debilidades en los procesos de toma de decisiones comunitarias, lo que confirma que las limitaciones para la implementación de acciones de eficiencia energética en la Propiedad Horizontal trascienden el ámbito tecnológico.

Esta distribución porcentual sugiere que, aun cuando existen medidas técnicamente viables y económicamente atractivas, la ausencia de conocimiento estructurado, la percepción de altos costos iniciales y las dinámicas organizacionales propias de la gobernanza colectiva actúan como barreras simultáneas. En este sentido, los resultados refuerzan la necesidad de enfoques integrales que combinen soluciones técnicas con estrategias de información, acompañamiento y fortalecimiento de la capacidad de decisión comunitaria, coherentes con el modelo metodológico propuesto.

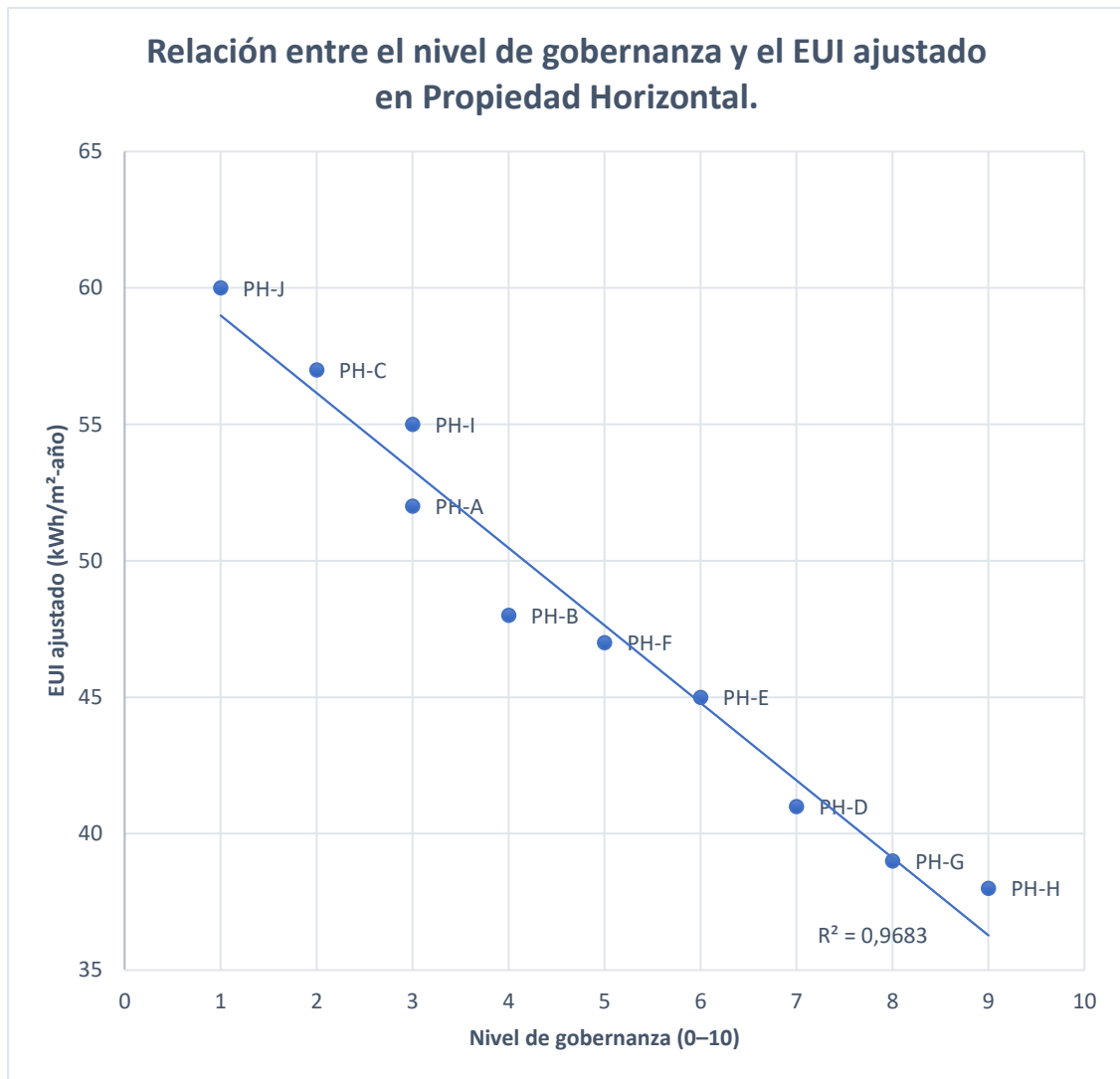
#### **9.4 Medición del nivel de gobernanza energética en propiedad horizontal**

Para efectos del análisis integrado, el nivel de gobernanza energética en la Propiedad Horizontal se operacionalizó como un indicador compuesto, construido a partir de variables cualitativas y perceptuales recolectadas mediante la encuesta aplicada a residentes y administradores.

El indicador considera dimensiones asociadas a la capacidad organizacional para gestionar la energía, incluyendo: la existencia de espacios formales de decisión (asambleas, comités o roles definidos), el grado de participación de los residentes en decisiones energéticas, el nivel de conocimiento normativo (PROURE y RETIQ), la disponibilidad de información sobre consumos y costos, y la frecuencia con la que se discuten o implementan acciones relacionadas con eficiencia energética. Cada dimensión fue normalizada y agregada en una escala ordinal de 1 a 10, permitiendo construir un indicador sintético de gobernanza energética. Esta operacionalización no pretende medir gobernanza normativa formal, sino capturar la capacidad organizacional efectiva de las copropiedades para gestionar la energía en la fase de operación, a partir de información empírica recolectada en el trabajo de campo.

Esta aproximación es coherente con enfoques de gobernanza energética en contextos residenciales colectivos, que destacan la necesidad de evaluar no solo la infraestructura técnica, sino también los arreglos institucionales, la participación y los procesos de decisión que condicionan el desempeño energético (Ostrom, 2015; Geels, 2011; Sovacool, 2014). A partir de este indicador, se analizó la relación entre el nivel de gobernanza energética y el desempeño técnico de las edificaciones, medido a través del indicador EUI ajustado, con el fin de identificar patrones y brechas entre capacidad organizacional y eficiencia energética real en la fase de operación.

**Figura 12. Relación entre el nivel de gobernanza y el EUI ajustado en propiedad horizontal**



En la figura se evidencia una relación inversa entre el nivel de gobernanza energética de las edificaciones analizadas y los conjuntos con estructuras organizacionales más débiles, caracterizadas por comités activos, mayor participación en asambleas, reglas de operación claras y seguimiento sistemático, presentan valores inferiores de EUI ajustado, lo que sugiere un uso más eficiente de la energía. Este resultado se basa en el indicador compuesto de gobernanza construido a partir de variables organizacionales y perceptuales recogidas en la encuesta, y confirma que la eficiencia energética en la Propiedad Horizontal no depende únicamente de la tecnología instalada, sino de la articulación entre factores sociales, institucionales y de comportamiento, lo cual coincide con los planteamientos de las transiciones sociotécnicas (Geels, 2011; Sovacool, 2014).

### **9.5 Integración cuantitativo–cualitativa: brecha entre desempeño y gobernanza**

La integración de los resultados técnicos y sociales mediante el uso de joint displays permitió identificar uno de los hallazgos más relevantes de la investigación: la existencia de una brecha estructural entre el desempeño energético observado y los niveles de gobernanza, participación y apropiación normativa en la Propiedad Horizontal. En particular, los resultados muestran que las copropiedades con mejores indicadores técnicos de desempeño energético no son necesariamente aquellas con mayores niveles de gobernanza energética, conocimiento normativo o participación comunitaria, lo que pone en cuestión supuestos lineales que asocian automáticamente eficiencia técnica con capacidad institucional.

Desde una perspectiva interpretativa, esta brecha sugiere que la eficiencia energética puede alcanzarse de manera puntual como resultado de decisiones tecnológicas aisladas, condiciones estructurales favorables o inversiones específicas, pero difícilmente se sostiene en el tiempo sin mecanismos formales de gestión y gobernanza que acompañen dichos avances. En ausencia de estos mecanismos, los ahorros observados tienden a depender de factores contingentes —como la vida útil de los equipos, la voluntad temporal de administradores o la disponibilidad de recursos— más que de procesos sistemáticos de gestión energética.

Este hallazgo adquiere especial relevancia cuando se analiza a la luz del marco normativo colombiano. La brecha identificada es consistente con las limitaciones estructurales del PROURE, el cual, si bien establece lineamientos generales para el uso racional y eficiente de la energía, no incorpora indicadores obligatorios de gestión energética en la fase de operación de los edificios residenciales. De manera similar, la débil fiscalización del RETIQ en contextos de Propiedad Horizontal limita su capacidad para inducir cambios sostenidos en los sistemas comunes, especialmente en ausencia de incentivos o sanciones claras. En este sentido, los resultados empíricos de la investigación no solo reflejan una realidad operativa, sino que evidencian vacíos institucionales que condicionan la efectividad de las políticas públicas vigentes.

El contraste con la literatura sobre transiciones sociotécnicas permite profundizar aún más esta interpretación. Autores como Geels (2011) y Sovacool (2014) señalan que los cambios sostenidos en los sistemas energéticos requieren procesos de coevolución entre tecnología, prácticas sociales, marcos institucionales y formas de gobernanza. Los resultados de esta investigación se alinean con estos planteamientos al mostrar que los avances puramente técnicos, cuando no están acompañados de transformaciones organizacionales y culturales, generan beneficios frágiles y reversibles. Sin embargo, el estudio también aporta una especificidad contextual: en la Propiedad Horizontal, esta coevolución se ve especialmente limitada por la fragmentación de responsabilidades y la ausencia de estructuras formales de gestión energética comunitaria.

El análisis integrado de los indicadores técnicos y sociales, sintetizado en los joint displays propuestos, permite ilustrar distintos escenarios de desempeño y gobernanza. Por ejemplo, la coexistencia de un bajo EUI con niveles reducidos de participación comunitaria evidencia situaciones en las que los ahorros logrados no pueden considerarse sostenibles, al depender de factores externos a la gestión interna de la copropiedad. De manera similar, la identificación de altos potenciales técnicos combinados con un elevado conocimiento normativo revela oportunidades de inversión que, sin embargo, requieren criterios claros de priorización y mecanismos de decisión colectiva para materializarse. Por otro lado, los casos de consumo elevado en sistemas de bombeo asociados a barreras económicas muestran que la eficiencia energética no puede desligarse de consideraciones financieras y de equidad en la toma de decisiones.

Estas configuraciones ponen de manifiesto que la transición energética en la Propiedad Horizontal no responde a un único camino ni a una secuencia lineal de acciones, sino que se configura como un proceso contingente, condicionado por la interacción entre capacidades técnicas, marcos normativos, recursos económicos y dinámicas sociales. En este sentido, los joint displays no solo funcionan como una herramienta de integración metodológica, sino como un dispositivo analítico que permite visibilizar tensiones, contradicciones y oportunidades que no emergen cuando los datos técnicos y sociales se analizan de manera separada.

Desde una perspectiva metodológica, este hallazgo refuerza la pertinencia del enfoque integral propuesto en la investigación. La evidencia muestra que la sostenibilidad de los avances en eficiencia energética depende menos de la adopción puntual de tecnologías eficientes y más de la capacidad de las copropiedades para institucionalizar prácticas de gestión energética, fortalecer su gobernanza interna y articular decisiones técnicas con procesos participativos. En consecuencia, la brecha identificada no debe interpretarse como una falla de las comunidades, sino como el resultado de un entorno normativo y organizacional que no ha sido diseñado para facilitar la transición energética en contextos residenciales multifamiliares.

**Tabla 13. Joint Display sugerido 1**

<b>Indicador técnico</b>	<b>Indicador social</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Implicación para el PAE–PH</b>
<b>EUI bajo</b>	Baja participación	Ahorro no sostenible	Reforzar gobernanza
<b>Alto potencial técnico</b>	Alto conocimiento RETIQ	Oportunidad de inversión	Priorizar VFD y ascensores
<b>Consumo alto en bombeo</b>	Barrera económica	Difícil recambio	Aplicar no-regret primero

## 9.6 Pertinencia del enfoque integral propuesto

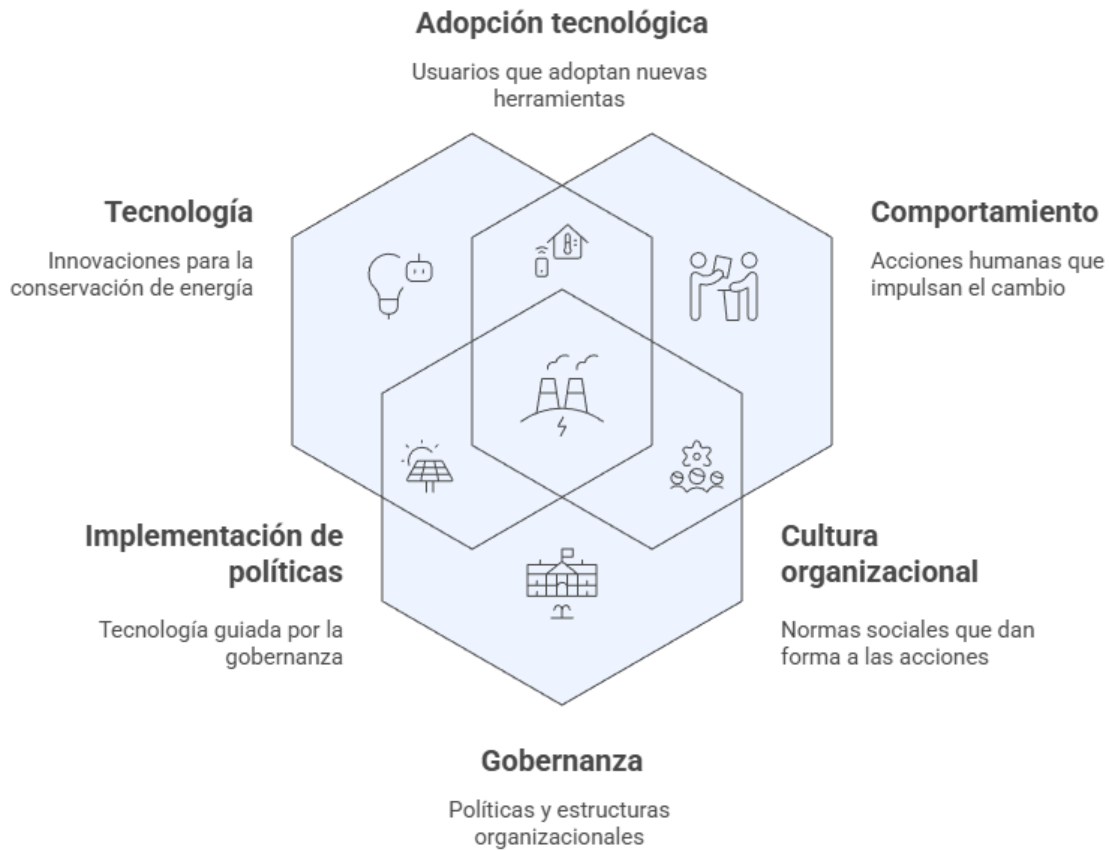
Los resultados obtenidos a lo largo de la investigación permiten afirmar que una estrategia orientada exclusivamente al reemplazo tecnológico resulta insuficiente para generar mejoras sostenidas en eficiencia energética en el contexto de la Propiedad Horizontal. Si bien la adopción de tecnologías eficientes constituye una condición necesaria, la evidencia empírica muestra que, en ausencia de cambios complementarios en los comportamientos de uso y en las estructuras de gobernanza, los impactos alcanzados tienden a ser parciales, frágiles o dependientes de factores coyunturales.

En este sentido, los hallazgos del estudio confirman que la combinación articulada de tecnología, comportamiento y gobernanza produce resultados más consistentes y sostenibles, en concordancia con lo planteado por O'Neill et al. (2013), quienes señalan que las intervenciones integrales logran mayores tasas de adopción y permanencia de las medidas de eficiencia energética. La investigación muestra que la educación energética desempeña un papel fundamental en este proceso, al facilitar la apropiación de las tecnologías implementadas, reducir resistencias al cambio y fortalecer la continuidad de las acciones en el tiempo. De manera complementaria, la existencia de comités o instancias de gestión energética contribuye a mejorar la trazabilidad, el seguimiento y el control de los planes de acción, en línea con los principios establecidos en la norma ISO 50001.

La pertinencia del enfoque integral propuesto se hace especialmente evidente al analizar los resultados desde la perspectiva de la operación cotidiana de los conjuntos residenciales. En estos contextos, las decisiones sobre consumo energético no se toman de manera centralizada ni responden únicamente a criterios técnicos, sino que emergen de la interacción entre múltiples actores —administradores, consejos de administración y residentes— con distintos niveles de información, motivación y capacidad de acción. Bajo estas condiciones, la sola disponibilidad de tecnologías eficientes no garantiza su uso óptimo ni la consolidación de prácticas de ahorro energético.

La Figura 13 sintetiza esta lógica al representar una triada ampliada para la eficiencia energética sostenible en la Propiedad Horizontal, en la cual la tecnología, el comportamiento y la gobernanza se integran a través de elementos operativos concretos: adopción tecnológica, cultura organizacional e implementación de políticas. Esta representación permite visualizar que la eficiencia energética no es un atributo inherente a los sistemas tecnológicos, sino un resultado emergente de su interacción con las prácticas sociales y las estructuras institucionales que regulan su uso.

**Figura 13. Triada ampliada para la eficiencia energética sostenible en propiedad horizontal**



Desde una perspectiva interpretativa, esta triada ampliada refleja que la sostenibilidad de los resultados depende de la capacidad de los usuarios para apropiarse de las tecnologías disponibles, de las normas sociales que orientan su utilización y de los mecanismos organizacionales que permiten sostener los cambios en el tiempo. Los resultados del estudio muestran que, cuando estas dimensiones no se encuentran alineadas, se generan brechas entre el potencial técnico identificado y el desempeño energético real observado, tal como se evidenció en los análisis integrados presentados en los apartados anteriores.

El enfoque integral propuesto se alinea de manera consistente con los enfoques de transiciones sociotécnicas, los cuales plantean que el desempeño energético emerge de la interacción simultánea entre infraestructura, comportamiento humano y marcos institucionales (Geels, 2011; Sovacool, 2014). No obstante, la investigación aporta un valor adicional al situar estos planteamientos en el contexto específico de la Propiedad Horizontal, donde las dinámicas de gobernanza fragmentada, la rotación de administraciones y la limitada obligatoriedad normativa introducen restricciones particulares a la transición energética.

En este marco, la pertinencia del enfoque integral no radica únicamente en su coherencia teórica, sino en su capacidad para responder a las condiciones reales de operación de los conjuntos residenciales. Al integrar dimensiones técnicas, sociales y organizacionales, el enfoque permite superar visiones reduccionistas de la eficiencia energética y ofrece una base metodológica más adecuada para diseñar planes de acción realistas, adaptables y sostenibles en el tiempo. De este modo, el enfoque integral propuesto no solo interpreta los resultados obtenidos, sino que se consolida como una herramienta analítica y operativa para orientar intervenciones futuras en contextos residenciales con características similares.

### **9.7 Dependencias identificadas para materializar el potencial técnico**

La evaluación ex ante desarrollada en esta investigación pone de manifiesto que, si bien el catálogo de medidas identificadas presenta un potencial técnico significativo de ahorro energético, su materialización efectiva en la Propiedad Horizontal no es automática ni garantizada. Por el contrario, los resultados evidencian que dicho potencial se encuentra condicionado por un conjunto de dependencias críticas de carácter social, organizacional y operativo, cuya ausencia limita la conversión del potencial técnico en resultados reales y sostenidos.

En primer lugar, el nivel de apropiación comunitaria emerge como una condición determinante. Las medidas con mayor potencial técnico requieren, en la mayoría de los casos, cambios en prácticas de uso, aceptación de inversiones colectivas o ajustes en rutinas de operación. Sin procesos de sensibilización, educación energética y participación activa de los residentes, estas medidas tienden a enfrentar resistencias o a ser implementadas de manera parcial, reduciendo significativamente su impacto esperado.

En segundo lugar, la disponibilidad de recursos económicos constituye una dependencia estructural para la adopción de tecnologías más eficientes, especialmente en sistemas de alto consumo como ascensores, bombeo o ventilación. No obstante, los resultados sugieren que la restricción financiera no actúa de manera aislada, sino que se ve amplificada cuando no existen mecanismos claros de priorización, análisis costo-beneficio o instrumentos de decisión colectiva que faciliten la aprobación de inversiones en las asambleas de copropietarios.

Asimismo, la existencia de instrumentos formales de medición y verificación (M&V) se identifica como una condición habilitante para sostener los procesos de eficiencia energética. La ausencia de indicadores claros, líneas base confiables y seguimiento periódico dificulta la demostración de los beneficios obtenidos, lo cual debilita la confianza de la comunidad y reduce la probabilidad de continuidad de las acciones implementadas. Esta dependencia resulta especialmente relevante en contextos residenciales, donde la percepción de resultados suele ser tan importante como los resultados técnicos en sí mismos.

La continuidad del comité energético y la regularidad de las asambleas y procesos de decisión aparecen también como factores críticos. Los resultados muestran que la rotación frecuente de administraciones, la discontinuidad en los liderazgos y la baja institucionalización de la gestión energética generan rupturas en los procesos, impidiendo la consolidación de aprendizajes organizacionales y la acumulación de avances en el tiempo. En este sentido, la gobernanza energética no solo influye en la toma de decisiones iniciales, sino en la capacidad de sostener y escalar las medidas adoptadas.

Estas dependencias identificadas son coherentes con la evidencia reportada por estudios internacionales, que señalan que la tecnología por sí sola explica menos del 50 % del impacto energético total, siendo los factores comportamentales e institucionales determinantes para cerrar la brecha entre el potencial técnico y el desempeño real (IEA, 2021). En línea con esta literatura, los resultados de la investigación sugieren que Bogotá D.C. presenta un amplio margen de mejora en eficiencia energética en Propiedad Horizontal; sin embargo, dicho margen difícilmente podrá materializarse si las intervenciones continúan abordándose desde enfoques fragmentados o exclusivamente tecnológicos.

En este contexto, la metodología desarrollada en el presente estudio aborda de manera explícita estas dependencias al proponer un enfoque estructurado basado en el ciclo PHVA, que integra medición y verificación bajo el estándar IPMVP, un catálogo de medidas priorizadas según criterios técnicos y operativos, y acciones orientadas al fortalecimiento de la gobernanza comunitaria. De este modo, la propuesta metodológica no se limita a identificar oportunidades de ahorro, sino que incorpora los mecanismos necesarios para gestionar las condiciones que hacen posible su implementación efectiva y sostenida.

## 10 Conclusiones y trabajo futuro

El presente estudio se propuso comprender y abordar el desafío de la eficiencia y la transición energética en la Propiedad Horizontal (PH) en Bogotá D.C., integrando dimensiones técnicas, sociales, organizacionales y normativas. Las conclusiones aquí expuestas se derivan directamente de los objetivos planteados, los resultados obtenidos y las hipótesis formuladas, procurando ofrecer una interpretación rigurosa, coherente y argumentada del fenómeno analizado.

En primer lugar, el análisis permitió confirmar que la Propiedad Horizontal en Bogotá D.C. enfrenta retos energéticos de carácter estructural que superan la capacidad de intervención aislada de administradores y residentes. Los datos del sistema O3–SSPD evidenciaron que los estratos 3 y 4 concentran el mayor volumen de consumo y de suscriptores residenciales, lo que los posiciona como actores estratégicos para la transición energética urbana. La coexistencia de consumos elevados, una gobernanza heterogénea y un bajo nivel de conocimiento de las normativas vigentes limita la adopción sistemática de prácticas de eficiencia energética, aun cuando existe una percepción positiva frente al tema. Este hallazgo responde al primer objetivo específico y evidencia que el problema no radica en la irrelevancia del tema para las comunidades, sino en las condiciones que dificultan su materialización.

En segundo lugar, el estudio determinó que, si bien Colombia dispone de instrumentos regulatorios relevantes como el PROURE y el RETIQ, persisten brechas significativas que restringen su efectividad en el contexto específico de la PH. La ausencia de mecanismos de seguimiento obligatorio, la baja fiscalización del etiquetado energético y la inexistencia de estándares de desempeño energético para edificios multifamiliares dificultan que las copropiedades traduzcan estos marcos normativos en acciones concretas. Esta conclusión complementa el segundo objetivo específico y pone en evidencia la necesidad de fortalecer y adaptar el marco regulatorio para responder a la realidad energética de los entornos residenciales urbanos.

En tercer lugar, la construcción de una línea base híbrida —técnica y social— demostró la importancia de integrar datos empíricos de consumo, percepciones ciudadanas y caracterización física de los conjuntos residenciales para comprender con mayor precisión su desempeño energético. La articulación de las bases O3–SSPD, el Registro de Propiedad Horizontal y la encuesta aplicada permitió identificar tipologías representativas, estimar potenciales de reducción y validar la relevancia de considerar de manera simultánea variables físicas y comportamentales. Este resultado se alinea con el segundo objetivo específico y refuerza el enfoque sociotécnico de la eficiencia energética en PH.

En cuarto lugar, el estudio ratifica que la eficiencia y la transición energética en la Propiedad Horizontal no pueden concebirse exclusivamente como un problema tecnológico. Los resultados muestran que las decisiones de consumo están mediadas por factores cognitivos, culturales, económicos y organizacionales que inciden directamente en las prácticas cotidianas. Si bien se identifican acciones aisladas orientadas al ahorro energético, estas no constituyen una metodología estructurada ni un sistema de gestión energética comunitaria. En este sentido, el estudio evidencia la existencia de disposiciones favorables y prácticas fragmentadas, pero confirma que estas carecen de articulación, continuidad y acompañamiento técnico suficiente para sostener un proceso de transición energética.

En quinto lugar, la metodología integral desarrollada en esta investigación se consolida como una herramienta sólida y replicable para la gestión energética en la Propiedad Horizontal. Su diseño, basado en el ciclo PHVA, la incorporación de mecanismos de medición y verificación (IPMVP, opción C), estrategias de formación comunitaria y criterios normativos del RETIQ, ofrece una ruta operativa viable para que las copropiedades avancen desde el diagnóstico hasta la implementación y el seguimiento de medidas de eficiencia energética. Este resultado responde directamente al tercer objetivo específico y constituye un aporte técnico concreto para futuras intervenciones.

En sexto lugar, la evaluación ex ante permitió confirmar la existencia de un potencial técnico significativo de mejora, especialmente en sistemas comunes como iluminación, ascensores, bombeo y ventilación. No obstante, los resultados evidencian que la materialización de estos ahorros depende de factores no técnicos, como la continuidad institucional, el fortalecimiento de la gobernanza energética, la apropiación comunitaria y la disponibilidad de mecanismos de financiamiento. Este hallazgo reafirma que el interés por la transición energética, aunque presente, requiere ser acompañado de herramientas metodológicas y capacidades organizativas que garanticen su sostenibilidad en el tiempo.

El estudio realiza un aporte relevante al diseño de políticas públicas locales, al integrar datos reales de consumo, análisis normativo, caracterización técnica y elementos de comportamiento social. Esta aproximación permite construir un modelo replicable para Bogotá D.C., fortaleciendo el rol de la Propiedad Horizontal como actor estratégico en la transición energética urbana y contribuyendo al cumplimiento de las metas establecidas en el PROURE 2022–2030.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se confirma de manera explícita la hipótesis alterna  $H_1$ , que establece que los habitantes de la propiedad horizontal sí están interesados en la transición energética, pero carecen de una metodología que facilite su aplicación efectiva. La evidencia empírica muestra una disposición positiva, interés declarado y reconocimiento de la importancia de la eficiencia energética por parte de las comunidades; sin embargo, también revela la ausencia de herramientas estructuradas,

criterios claros de decisión y sistemas de seguimiento que permitan transformar ese interés en acciones colectivas sostenidas.

En consecuencia, se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ), ya que los resultados contradicen la afirmación de que los habitantes no muestran interés significativo por la transición energética. Asimismo, se descarta la hipótesis  $H_2$ , dado que, aunque se identifican prácticas aisladas o comportamientos favorables al ahorro energético, estas no constituyen metodologías, ni siquiera incipientes, que puedan ser consideradas como procesos organizados de transición energética en la Propiedad Horizontal.

El estudio demuestra que el principal obstáculo para la transición energética en la PH no es la falta de interés comunitario, sino la ausencia de metodologías adaptadas a su realidad social, organizativa y normativa. Esta conclusión asegura la coherencia entre los objetivos, los resultados y la verificación de la hipótesis, y justifica la pertinencia de la metodología propuesta como respuesta concreta al problema identificado.

### **10.1 Trabajo futuro**

Los resultados de esta investigación abren diversas oportunidades de profundización investigativa y de desarrollo metodológico orientadas a fortalecer la transición energética en la Propiedad Horizontal (PH). No obstante, en coherencia con los hallazgos obtenidos, estas líneas de trabajo futuro pueden y deben priorizarse de acuerdo con su impacto, viabilidad y rol habilitante para el avance del campo.

Como primera y principal línea de trabajo futuro, se propone la validación empírica de la metodología integral desarrollada, mediante la ejecución de estudios piloto en uno o varios conjuntos residenciales reales. Esta etapa resulta prioritaria, dado que permitiría contrastar en campo la aplicabilidad de la metodología, evaluar su capacidad para inducir cambios reales en el consumo energético bajo el esquema IPMVP Opción C, analizar las dinámicas de gobernanza energética y ajustar los instrumentos técnicos, educativos y organizacionales propuestos. La validación empírica constituye un paso indispensable para consolidar la metodología como una herramienta operativa y transferible.

En segundo lugar, se identifica como línea prioritaria para profundizar en el análisis sociotécnico del comportamiento energético en la PH. Los resultados del estudio evidencian que la transición energética no depende exclusivamente de variables técnicas, sino de factores culturales, cognitivos y organizativos que condicionan la adopción de medidas de eficiencia. Investigaciones futuras orientadas a comprender normas sociales, procesos de toma de decisión colectiva, percepciones de riesgo y mecanismos de apropiación comunitaria —a través de estudios longitudinales, enfoques etnográficos o experimentos de

intervención conductual— permitirían fortalecer el componente social de la metodología y aumentar su efectividad.

Como tercera línea de trabajo futuro, se propone el desarrollo de modelos económicos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones, orientadas a la priorización de inversiones en eficiencia energética. La incorporación de metodologías de costo–beneficio ampliado, análisis de riesgo, optimización multiobjetivo o simulaciones Monte Carlo permitiría a juntas de copropietarios y administradores evaluar escenarios bajo incertidumbre y tomar decisiones informadas, aspecto crítico para la sostenibilidad de las intervenciones en el tiempo.

En cuarto lugar, se plantea el uso de modelos avanzados de análisis energético, simulación y predicción. La integración de herramientas como EnergyPlus, modelos basados en datos horarios o técnicas de machine learning permitiría construir líneas base dinámicas, mejorar la precisión de las estimaciones de consumo y fortalecer la capacidad de anticipar impactos ante cambios climáticos, tarifarios u operativos. Esta línea complementa el enfoque actual y amplía su robustez técnica, aunque depende de la disponibilidad de datos y capacidades institucionales.

Como quinta línea de trabajo futuro, se identifica el análisis normativo y de política pública, orientado a cerrar las brechas regulatorias evidenciadas en el estudio. Investigaciones comparativas a nivel internacional podrían aportar insumos para la actualización del PROURE, el RETIQ y la regulación aplicable a edificios multifamiliares, incluyendo estándares mínimos de desempeño energético, esquemas de incentivos y mecanismos efectivos de seguimiento y fiscalización.

Finalmente, se reconoce como una línea emergente de mediano y largo plazo la integración de la eficiencia energética con energías renovables distribuidas, almacenamiento y sistemas inteligentes de gestión energética. La exploración de modelos de autoconsumo colectivo, microrredes comunitarias, tarifas dinámicas y sistemas EMS/BMS abre un campo prometedor para consolidar una transición energética más avanzada, resiliente y justa en la Propiedad Horizontal.

En conjunto, esta priorización de trabajos futuros reafirma que la investigación realizada no constituye un punto de cierre, sino una base estructural para el desarrollo progresivo de nuevas aproximaciones metodológicas, técnicas y normativas. La transición energética en la Propiedad Horizontal se configura como un proceso gradual, colectivo y sociotécnico, que requiere continuidad investigativa, fortalecimiento institucional y metodologías sólidas como la propuesta en este estudio.

## 11 Referencias

- BMWK. (s.f.). *Evaluation of the KfW 433 programme (synopsis)*. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/evaluation-kfw-433-programme.pdf>
- Boletín Oficial del Estado. (2021). *Real Decreto 149/2021, de 9 de marzo, por el que se regula el programa de ayudas para actuaciones de eficiencia energética en explotaciones agropecuarias*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/03/09/149>
- Boletín Oficial del Estado. (2021). *Real Decreto-ley 29/2021, de 21 de diciembre, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético*. <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2021/12/21/29>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2022). *Información de mercado eléctrico e hídrico*. <https://www.creg.gov.co/es/publicaciones>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2022a). *Eficiencia energética y transición energética en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.cepal.org>
- Comisión Económica para América Latina. (2022b). *Informes de eficiencia energética en América Latina*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Comisión Europea. (2017a). *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) and Energy Efficiency Directive (EED)*. European Commission. Unión Europea. <https://energy.ec.europa.eu>
- Comisión Europea. (2017b). [Reglamento \(UE\) 2017/1369](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en) [Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)]. [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)
- Congreso de la República. (2014). *Ley 1715* [energías renovables]. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56862>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale development: Theory and applications* (4th ed.).

Efficiency Valuation Organization. (s. f.). *International Performance Measurement and Verification Protocol*. <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>

Eisenhardt, K. M. (1989). Agency theory: An assessment and review. *Academy of Management Review*, 14(1), 57-74. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4279003>

European Parliament & Council. (2009). *Directive 2009/125/EC establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>

European Parliament & Council of the European Union. (2018). *Directive (EU) 2018/844 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (EPBD)*. European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L0844>

European Parliament & Council. (2010/2018). *Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (consolidated version, updated by Directive 2018/844)*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/2018-12-24>

European Parliament & Council. (2017). *Regulation (EU) 2017/1369 setting a framework for energy labelling*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1369/oj>

European Parliament & Council. (2018). *Directive (EU) 2018/844 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)

Geels, F. W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 24-40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>

George, D. & Mallery, P. (2003). *IBM SPSS Statistics 25 Step by Step: A Simple Guide and Reference*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351033909>

George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. Allyn & Bacon.

Gillingham, K., Newell, R. G. & Palmer, K. (2009). Energy Efficiency Economics and Policy. *Annual Review of Resource Economics*, 1(1), 597–620. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.102308.124234>

Gobierno Transición Ecológica. (s. f.). *Reto Demográfico*. <https://www.miteco.gob.es>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.).

Hiatt, J. (2006). *ADKAR: A model for change in business, government and our community* [Prosci.]. <https://www.prosci.com/resources/articles/adkar-model>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Plan de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Inventario GEI 2019*. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/inventarios-de-gases-de-efecto-invernadero/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Reportes climáticos*. <https://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/informes-climaticos>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2021). *Programa de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE)*. <https://www.idae.es/publicaciones/pree-programa-de-rehabilitacion-energetica-de-edificios>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2021). *Memoria Anual IDAE 2021–2022*. <https://www.idae.es/publicaciones/memoria-anual-idae-2021-2022>

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. (s. f.). *Programa PREE*. <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/rehabilitacion-de-edificios-programa-pree>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *AR6 Mitigation*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

International Energy Agency. (2020). *Energy efficiency 2020*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>

International Energy Agency. (2021). *Energy efficiency*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>

International Energy Agency. (2021). *World Energy Outlook*.  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

International Energy Agency. (2022). *Buildings Review*.  
<https://www.iea.org/reports/buildings>

International Energy Agency. (2022). *Buildings*. <https://www.iea.org/topics/buildings>

International Energy Agency. (2022). *Energy Efficiency 2022: Market Report*.  
<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>

International Energy Agency. (2022). *World Energy Outlook 2022*.  
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 15686-5:2017—Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 5: Life-cycle costing*.  
<https://www.iso.org/standard/60267.html>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use*.  
<https://www.iso.org/standard/69426.html>

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.  
[https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)

Joint Research Centre. (2019). *Energy efficiency in buildings: Policy, technology and behaviour*. European Commission. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/publications/energy-efficiency-buildings-policy-technology-and-behaviour\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/publications/energy-efficiency-buildings-policy-technology-and-behaviour_en)

Joint Research Centre. (2021). *Energy efficiency in multifamily buildings*. European Commission. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/index\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/index_en)

KfW Research. (2023). *KfW Energy Transition Barometer 2023*.  
<https://www.kfw.de/KfW-Group/Research/Energy-Transition-Barometer/>

KfW., K. – A. (s. f.a). *Effizienzhaus: Energy-efficient construction and refurbishment*. Kreditanstalt für Wiederaufbau. <https://www.kfw.de>

Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.  
<https://store.hbr.org/product/leading-change/10083>

Kreditanstalt für Wiederaufbau. (s. f.a). *Germany (Effizienzhaus/BEG)*.  
<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/>

Kreditanstalt für Wiederaufbau. (s. f.b). *Effizienzhaus*.  
<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/>

Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/reassembling-the-social-9780199256044>

Latour. (2005). *Reassembling the Social*.  
<https://global.oup.com/academic/product/reassembling-the-social-9780199256044>

Mattoni, B., Guattari, C., Evangelisti, L., Bisegna, F., Gori, P., & Asdrubali, F. (2018). Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 950-960. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.105>

Meza, C., Torres, J. & Becerra, L. (2021). Barreras para la eficiencia energética en vivienda multifamiliar en América Latina. *Revista Hábitat Sustentable*, 11(2), 22–35. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/5040>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Colombia*. Gobierno de Colombia. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC\\_Libro\\_final\\_digital-1.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC_Libro_final_digital-1.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Resolución 41012 de 2015* [Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ)]. Gobierno de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/normatividad/resoluciones/resolucion-41012-de-2015/>

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Diagnóstico sector residencial*. Gobierno de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/publicaciones/>

Ministerio de Minas y Energía. (2021a). *Reglamento Técnico de Etiquetado Energético (RETIQ)*. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-etiquetado-retiq/>

Ministerio de Minas y Energía. (2021b). *Resolución 40247 de 2021 – Lineamientos para la eficiencia energética*. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/Resolucion\\_40247\\_2021.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/Resolucion_40247_2021.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Informe de seguimiento al PROURE*. Gobierno de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/proyectos/proure>

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE)*. Gobierno de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/proyectos-y-programas/proure/>

Ministerio de Minas y Energía. (s. f.) . [título]. <https://www.minenergia.gov.co/proyectos-y-programas/proure/>

Ministerio de Minas y Energía. *Resolución 41012 de 2015* [Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ)]. Gobierno de Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/normatividad/resoluciones/resolucion-41012-de-2015/>

Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory*. McGraw-Hill.

O'Brien, W., & Gunay, H. B. (2014). The contextual factors contributing to occupants' adaptive comfort behaviors in offices – A review and proposed modeling framework. *Building and Environment*, 77, 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.024>

O'Neill, K., Weinthal, E., Marion Suiseeya, K. R., Bernstein, S., Cohn, A., Stone, M. W. & Cashore, B. (2013). Methods and Global Environmental Governance. *Annual Review of Environment and Resources*, 38(1), 441–471. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-072811-114530>

Ostrom, E. (2015). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action* (1.ª ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316423936>

Palm, J., & Reindl, K. (2018). Understanding energy efficiency in buildings. *Building and Environment*, 140, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.026>

Parlamento Europeo & Consejo Europeo. *Directiva 2018/844/UE* [rendimiento energético de edificios]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L0844>

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). (s. f.). *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Gobierno Federal de Brasil. Recuperado <https://www.gov.br/inmetro>

- Sayegh, A. (2018). Assessing energy efficiency retrofit strategies. *Energy and Buildings*, 158, 1596-1610. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.012>
- Sayegh, M. A., Jadwiszczak, P., Axcell, B. P., Niemierka, E., Bryś, K. & Jouhara, H. (2018). Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating. *Energy and Buildings*, 166, 122–144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.006>
- Servicios Públicos Domiciliarios, S. (2022a). *Boletín tarifario de energía eléctrica – Segundo trimestre de 2022*. <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Boletin-Tarifario-energia-Trimestre-II-2022.pdf>
- Servicios Públicos Domiciliarios, S. (2022b). *Plataforma O3 – Observatorio de Datos de Servicios Públicos Domicilia-rios*. <https://www.superservicios.gov.co/o3>
- Siddons, C., Allan, G., & McIntyre, S. (2015). How accurate are forecasts of costs of energy? A methodological contribution. *Energy Policy*, 87, 224-228. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.09.015>
- Sorrell, S. (2011). Energy efficiency and rebound effects. *Energy Policy*, 39(6), 3173-3185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.020>
- Sovacool, B. K. (2014). What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda. *Energy Research & Social Science*, 1, 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.02.003>
- Stern, P. C. (2000). New Environmental Theories: Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407–424. <https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (s. f.). *Plataforma O3-SSPD*. <https://www.sspd.gov.co/o3>
- Thaler, R. H. & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Yale University Press.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2020). *Plan Energético Nacional – Colombia 2050*. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2050.aspx>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2021). *Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE)*.

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento\\_PROURE\\_2022-2030\\_v4.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf)

Unidad de Planeación Minero Energética. (2023). *Estadísticas y prospectiva energética*. <https://www1.upme.gov.co/sitios/publicaciones/>

Vázquez-Canteli, J. R., Ulyanin, S., Kämpf, J. & Nagy, Z. (2019). Fusing TensorFlow with building energy simulation for intelligent energy management in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 45, 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.021>

Webster, E., Bezuidenhout, A. & Buhlungu, S. (2003). *Work and organizations*. Oxford University Press.

Webster, J., Hackley, P., & Carey, J. (2003). Implementing intranets: A socio-technical perspective. *Journal of Information Technology*, 18(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/0268396032000077468>

## **Anexos.**