

Menor consumo



Mayor consumo

Plan de Acción Indicativo

2026 - 2035 PROURE

Propuesta

Agosto, 2026



Directora General UPME
Indira Portocarrero Ospina

Subdirectora de Demanda
Johanna Stella Castellanos Arias

Asesora Subdirección de Demanda
Olga Victoria González

Grupo interno de trabajo:

Ruth Adriana Navas
Angélica Contreras
Alexander Valencia
Bolívar Monroy
David Serrato
Elkin Ramírez
Erika Flórez
Verónica Ortiz

Diseño y Diagramación

Diego Peñaranda
Olga Lucía Rojas Solórzano.



© UPME
Av. Calle 26 # 69 D-91 Torre 1 - Piso 9
Bogotá - Colombia
Tel.: +57 6012220601
upme.gov.co

República de Colombia - Ministerio de Minas y Energía
Bogotá, agosto de 2026



AGRADECIMIENTOS

El presente documento se ha beneficiado de los aportes de colaboradores internos y externos. La Subdirección de Demanda de la UPME extiende su agradecimiento por la participación y los insumos técnicos brindados a lo largo de la formulación del PAI PROURE, en especial a las instituciones y profesionales que participaron en las mesas técnicas temáticas: Diana Jara y Francisco Avendaño (Ecopetrol), Andrés Amel (Grupo Gasura de la Universidad de Antioquia), Stefany García (IDOM), Marco Matteini y Liliana Morales (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), Angélica Antolinez, Ricardo Baquero y Cristina Mariaca (Programa Distritos Energéticos - Colombia), Juan Carlos Campos (Universidad del Atlántico), Cesar Acevedo y Mario Acero (Universidad Autónoma de Bucaramanga), Juan Esteban Tibaquirá (Universidad Tecnológica de Pereira), Juan Ricardo Vidal (Universidad Autónoma de Occidente), Marcelo Hernández, Germán Lleras, Fabio González, Omar Serrano.

Asimismo, agradecemos al equipo interno de la UPME: Jaime Fernando Andrade, John Alejandro Barrios, Cristian Alejandro Blanco, Juan Francisco Martínez, William Martínez, Diana Montaña, Andrés Steven Morales, Ricardo Ramírez, Jesús Eduardo Sánchez, John Alexander Sánchez y en general a los profesionales de las Subdirecciones de Energía Eléctrica, Hidrocarburos, Minería y Gestión de la Información, por los insumos y valiosas observaciones recibidas en los espacios de discusión.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	11
1 PUNTO DE PARTIDA: AVANCES EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN COLOMBIA.....	14
1.1 Diseño y desarrollo de política, planes y normatividad.....	15
1.2 Desarrollo de programas, iniciativas y mecanismos con apoyo de fondos públicos, de la banca y de cooperación técnica internacional.....	24
1.3 Diseño y aplicación de incentivos tributarios para la gestión eficiente de la energía de las Leyes 1715 de 2014 y 2099 del 2021	31
2 VISIÓN Y OBJETIVOS	38
2.1 Visión: la eficiencia como habilitadora de la transición energética	38
2.2 Objetivo general	39
2.3 Objetivos específicos.....	39
3 ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	41
4 ANÁLISIS SECTOR INDUSTRIAL	45
4.1 Línea base de consumo energético sector industrial	45
4.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector industrial.....	50
4.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector industrial.....	54
4.4 Conclusiones y recomendaciones sector industrial	56
5 ANÁLISIS SECTOR RESIDENCIAL.....	60
5.1 Sector Residencial Urbano	61
5.1.1 Línea base de consumo energético sector residencial urbano	61
5.1.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector residencial urbano	65
5.1.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector residencial urbano	68

5.1.4	Conclusiones y recomendaciones sector residencial urbano.....	70
5.2	Sector Residencial Rural.....	72
5.2.1	Línea base de consumo energético sector residencial rural	72
5.2.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector residencial rural 75	
5.2.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector residencial rural	78
5.2.4	Conclusiones y recomendaciones sector residencial rural.....	79
6	ANÁLISIS SECTOR TRANSPORTE.....	82
6.1	Línea base de consumo energético sector transporte.....	82
6.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector transporte 92	
6.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector transporte	96
6.4	Conclusiones y recomendaciones sector transporte	98
7	ANÁLISIS SECTOR TERCIARIO	104
7.1	Línea base de consumo energético sector terciario.....	104
7.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector terciario	110
7.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector terciario	118
7.4	Conclusiones y recomendaciones sector terciario.....	120
8	ANÁLISIS SECTOR AGROPECUARIO	124
8.1	Línea base de consumo energético sector agropecuario	125
8.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector agropecuario 131	
8.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector agropecuario.....	135
8.4	Conclusiones y recomendaciones sector agropecuario	137
9	ANÁLISIS SECTOR HIDROCARBUROS	140
9.1	Línea base de consumo energético sector hidrocarburos	140
9.2	línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector hidrocarburos 145	

9.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector hidrocarburos	149
9.4	Conclusiones y recomendaciones sector hidrocarburos.....	151
10	ANÁLISIS SECTOR MINERO.....	153
10.1	Línea base de consumo energético sector minero	153
10.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector minero....	157
10.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector minero.....	161
10.4	Conclusiones y recomendaciones sector minero	163
11	ANÁLISIS SECTOR TERMOELÉCTRICO.....	165
11.1	Línea base de consumo energético sector termoeléctrico.....	165
11.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector termoeléctrico	170
11.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector termoeléctrico	174
11.4	Conclusiones y recomendaciones sector termoeléctrico	175
12	ANÁLISIS SECTOR ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	178
12.1	Línea base de consumo energético sector almacenamiento	178
12.2	Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector almacenamiento	181
12.3	Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector almacenamiento	183
12.4	Conclusiones y recomendaciones sector almacenamiento.....	185
13	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	186
13.1	Resultados de las metas indicativas de eficiencia energéticas sectoriales y de la meta nacional	186
13.2	Resultados del impacto en reducción de emisiones de las metas indicativas sectoriales y de la meta nacional	188
14	RECOMENDACIONES TRANSVERSALES PARA ACELERAR LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	191
15	RECOMENDACIONES DE MEDIDAS Y ACCIONES PRIORIZADAS PARA INCENTIVOS TRIBUTARIOS.....	199
	BIBLIOGRAFÍA.....	210

ANEXO 1. ENFOQUE DEL NATIONAL STANDARD PRACTICE MANUAL (NSPM-NESP), ADAPTADO AL CONTEXTO INSTITUCIONAL, REGULATORIO Y ENERGÉTICO COLOMBIANO.....	215
---	------------

Índice de Tablas

Tabla 1. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector industrial	51
Tabla 2. Resultados consolidados sector industrial.....	52
Tabla 3. Análisis B/C sector Industrial	54
Tabla 4. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector	66
Tabla 5. Análisis B/C sector Residencial - Urbano.....	68
Tabla 6. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector Residencial - Rural....	76
Tabla 7. Resumen de resultados sector Residencial-Rural	77
Tabla 8. Análisis B/C sector Residencial – Rural.....	78
Tabla 9. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector	92
Tabla 10. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector	95
Tabla 11. Análisis B/C Sector Transporte.....	97
Tabla 12. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector terciario	114
Tabla 13. Resultados consolidados sector terciario	115
Tabla 14. Análisis B/C sector terciario	118
Tabla 15. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector agropecuario.....	133
Tabla 16. Resumen de resultados sector agropecuario.....	134
Tabla 17. Análisis B/C sector agropecuario.....	135
Tabla 18. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector hidrocarburos	147
Tabla 19. Resumen de resultados sector hidrocarburos, acumulado 2027-2035.....	149
Tabla 20. Análisis B/C sector hidrocarburos	149
Tabla 21. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector minero	159
Tabla 22. Resumen de resultados sector minero	160
Tabla 23. Análisis B/C sector minero	161
Tabla 24. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector termoeléctrico	172
Tabla 25. Resumen de resultados sector termoeléctrico	173
Tabla 26. Análisis B/C sector termoeléctrico.....	174
Tabla 27. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el almacenamiento	182
Tabla 28. Resumen de resultados sector almacenamiento de energía eléctrica.....	183
Tabla 29. Análisis B/C sector almacenamiento de energía eléctrica.....	184
Tabla 30. Relación entre potenciales de reducción de energía y emisiones por sector.....	190
Tabla 31. Medidas y acciones de eficiencia energética priorizadas	199

Índice de Figuras

Figura 1. Reducción de consumo esperado PAI PROURE 2022-2030	17
Figura 2. Inversión solicitada vs inversión aprobada por año (billones de pesos)	33
Figura 3. Ahorro de energía estimado por sector	34
Figura 4. Ahorro acumulado total y proyección hasta 2030	35
Figura 5. Reducción de emisiones por sector	36
Figura 6. Costo de ahorrar energía por sector	36
Figura 7. Costo de reducir emisiones por sector	37
Figura 8. Enfoque metodológico para la formulación del PAI PROURE 2026-2035	42
Figura 9. Consumo energético sector industrial	46
Figura 10. Proyección línea base de consumo sector industrial- Energético	49
Figura 11. Proyección línea base de consumo sector industrial- Uso	49
Figura 12. Participación por tipo de medidas en meta sectorial	52
Figura 13. Proyección línea meta por uso del sector industrial	54
Figura 14. Balance de consumo sector Residencial	60
Figura 15. Balance de consumo sector Residencial – Urbano	61
Figura 16. Proyección línea base por energético sector Residencial - Urbano	64
Figura 17. Proyección línea base por uso sector Residencial - Urbano	64
Figura 18. Proyección línea meta por uso sector Residencial - Urbano	67
Figura 19. Balance de consumo sector Residencial - Rural	72
Figura 20. Proyección línea base por energético sector Residencial - Rural	74
Figura 21. Proyección línea base por uso sector Residencial - Rural	74
Figura 22. Proyección línea meta por uso sector Residencial - Rural	77
Figura 23. Balance de consumo sector transporte por modo y energético [PJ]	83
Figura 24. Balance de consumo en otros modos de transporte por energético [PJ]	85
Figura 25. Balance de consumo sector transporte (2024), [TJ]	86
Figura 26. Evolución del consumo energético del sector transporte modo carretero	87
Figura 27. Evolución del consumo energético del sector transporte en otros modos: aéreo, férreo, marítimo y fluvial	88
Figura 28. Proyección línea base por energético sector transporte carretero	91
Figura 29. Proyección línea meta por uso del modo carretero del sector transporte	94
Figura 30. Proyección línea meta de otros modos del sector transporte	96
Figura 31. Balance de consumo sector terciario	105
Figura 32. Usos energía eléctrica - Comercial	105
Figura 33. Usos energía eléctrica – Público	106
Figura 34. Proyección línea base por energético sector terciario: comercial, público y data centers	108
Figura 35. Usos energía eléctrica - comercial	109

Figura 36. Usos energía eléctrica - Público	110
Figura 37. División de medidas por tipo	111
Figura 38. Proyección línea meta por uso sector terciario	116
Figura 39. Alcance de subsectores analizados para el sector APAI	126
Figura 40. Balance de consumo sector agropecuario	126
Figura 41. Distribución de consumo energético por uso sector agropecuario	127
Figura 42. Distribución de consumo por energético sector agropecuario – Fuerza motriz	128
Figura 43. Proyección línea base por energético sector agropecuario	130
Figura 44. Proyección línea base por uso sector agropecuario	130
Figura 45. Proyección línea meta por uso sector agropecuario	134
Figura 46. Balance de consumo sector hidrocarburos	141
Figura 47. Proyección línea base por energético sector hidrocarburos	144
Figura 48. Proyección línea base por uso sector hidrocarburos	145
Figura 49. Proyección línea meta por uso sector hidrocarburos	149
Figura 50. Balance de consumo energético sector minero	154
Figura 51. Proyección línea base por energético	156
Figura 52. Proyección línea base por uso sector minero	157
Figura 53. Proyección línea meta por uso sector minero	159
Figura 54. Balance de consumo sector termoeléctrico año 2024	166
Figura 55. Consumo de combustibles para generación por	167
Figura 56. Proyección línea base por energético	169
Figura 57. Proyección línea base por uso sector termoeléctrico	170
Figura 58. Proyección línea meta por uso sector termoeléctrico	172
Figura 59. Generación de Seguridad Fuera de Mérito - GFM por causal	179
Figura 60. GFM por recurso y energético año 2024	180
Figura 61. Generación de Seguridad Fuera de Mérito por subárea operativa	180
Figura 62. Proyección línea meta sector almacenamiento de energía eléctrica	183
Figura 63. Línea base de consumo y aporte PAI PROURE 2026-2035	187
Figura 64. Reducción de consumo sobre la línea base por sector	187
Figura 65. Distribución del potencial de ahorro energético global por tipo de medida	188
Figura 66. Línea base de emisiones y aporte PAI PROURE 2026-2035	189
Figura 67. Reducción de emisiones sobre la línea base por sector	189
Figura 68. Pasos para la aplicación de la metodología de análisis beneficio-costos	217

Introducción

La eficiencia energética se ha consolidado como uno de los principales pilares para avanzar hacia sistemas energéticos más sostenibles, resilientes y competitivos, así como un instrumento para enfrentar simultáneamente los desafíos del crecimiento de la demanda de energía, la seguridad del abastecimiento, la competitividad económica y la mitigación del cambio climático.

A nivel internacional, organismos como la Agencia Internacional de Energía (IEA) han reconocido que la eficiencia energética constituye una de las herramientas más costo-efectivas para reducir emisiones de

“

La eficiencia energética se ha consolidado como uno de los principales pilares para avanzar hacia sistemas energéticos más sostenibles, resilientes y competitivos

”

gases de efecto invernadero, mejorar la seguridad energética, disminuir costos operativos, optimizar el aprovechamiento de la infraestructura energética existente y fortalecer la resiliencia de los sistemas energéticos frente a escenarios de creciente incertidumbre climática y tecnológica, garantizando el camino hacia la carbono neutralidad.

En Colombia, la política y el planeamiento en materia de eficiencia energética se concretan en el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI PROURE). Este instrumento es formulado por la UPME en el marco de sus funciones y concertado y adoptado por el Ministerio de Minas y Energía (MME) como hoja de ruta para orientar el desarrollo de la política pública en eficiencia energética.

El PAI PROURE ha impulsado la transición de dicha política, pasando de lineamientos indicativos a compromisos obligatorios, como se evidencia en el sector oficial, en la construcción sostenible, en el comercio de equipos y electrodomésticos, en las fuentes móviles y gestión de emisiones, y en las instalaciones térmicas y eléctricas. Esta evolución se

fundamenta en un marco normativo robusto y mecanismos de apoyo basados en cooperación técnica internacional e incentivos tributarios.

Desde la formulación de la Ley 697 de 2001 y las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, y otras iniciativas relacionadas, se ha avanzado progresivamente en la definición de medidas y acciones de eficiencia energética, cada vez con más y mejor información, lo cual ha permitido su priorización considerando tres tipos de medidas: de reconversión tecnológica, sustitución de energéticos y buenas prácticas de operación. Lo anterior, a partir de análisis que consideran madurez tecnológica, retos de implementación y aporte a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Paralelamente, las sucesivas actualizaciones del PAI PROURE han permitido consolidar metodologías para identificar, evaluar y priorizar medidas de eficiencia energética con base en criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales, considerando su impacto tanto para los usuarios, como para el sistema energético y la sociedad.

No obstante, la velocidad con que evoluciona la matriz energética nacional, el crecimiento de la demanda de energía, la incorporación de nuevas tecnologías y los compromisos nacionales en materia de transición energética justa y carbono neutralidad, se constituyen en elementos que motivan la actualización del PAI PROURE para el periodo 2026-2035.

Esta actualización se desarrolla en un contexto de profundas transformaciones tecnológicas y energéticas a nivel global y nacional, como el incremento de los procesos de electrificación, el despliegue de tecnologías digitales y la innovación en construcciones, entre otras, posicionando el rol de la eficiencia energética como habilitador transversal de la transición energética.

Adicionalmente, el país enfrenta desafíos estructurales asociados a la variabilidad climática, el crecimiento de la demanda energética, la expansión de los servicios, la competitividad industrial y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Eventos recientes como el fenómeno de El Niño 2023-2024 evidenciaron la importancia de fortalecer la gestión eficiente de la energía y la confiabilidad operativa del sistema energético nacional, de manera estructural y particularmente en sectores estratégicos como transporte, industria, residencial y terciario.

Con este propósito, el PAI PROURE 2026-2035 se construyó a partir del análisis de líneas base de consumo energético sectoriales, las proyecciones de demanda, la caracterización de usos finales y evaluación de medidas de eficiencia energética en los principales sectores económicos y energéticos del país. Este ejercicio incorporó información técnica sectorial, estudios realizados por la entidad y referencias internacionales, permitiendo identificar

oportunidades de eficiencia y ahorros energéticos y de reducción de emisiones; buscando aumentar productividad y competitividad, y mejorar la calidad de vida de la población.

Uno de los principales elementos diferenciales de esta actualización corresponde a la incorporación de nuevas tendencias tecnológicas y de buenas prácticas operativas que están redefiniendo los sistemas energéticos y los patrones de consumo. En este sentido, el documento integra enfoques asociados a infraestructura de medición y submedición avanzada, automatización, mantenimiento predictivo, control operacional, sistemas de gestión energética y flexibilidad de la demanda, reconociendo su papel estratégico para la optimización energética y la integración de recursos energéticos distribuidos.

Asimismo, el PAI PROURE 2026-2035 actúa como protagonista de la transición energética, entendiendo que se articula con procesos de electrificación, de descarbonización y participación y fortalecimiento territorial. En este marco, se incluyen estrategias orientadas al desarrollo de distritos energéticos, edificaciones sostenibles, electrificación de procesos térmicos en la industria manufacturera, de fuerza motriz, aprovechamiento de calor residual y modernización de infraestructura energética en sectores intensivos en consumo de energía.

Además, esta actualización fortalece los criterios del análisis beneficio costo desde las perspectivas privada, del sistema energético y de la sociedad, permitiendo valorar aquellas medidas con mayores impactos en términos de ahorro energético y reducción de emisiones, y encontrar sobre quienes recaen los beneficios y costos. Este enfoque facilita la formulación de recomendaciones orientadas al diseño de instrumentos de política pública, regulatorios y de planeación, que permitan acelerar la implementación de las medidas priorizadas.

Las metas de eficiencia energética definidas en el presente documento conservan su carácter indicativo y se sustentan en la mejor información técnica disponible, considerando el estado de desarrollo tecnológico, la viabilidad económica de las medidas y sus beneficios.

Finalmente, el Plan de Acción Indicativo se estructura en tres grandes bloques analíticos. En el primero, se presenta el Punto de Partida, un balance detallado de los avances e impactos del país en materia de eficiencia energética, incluyendo los mecanismos para su materialización. Posteriormente, se definen la Visión y Objetivos estratégicos a 2035, detallando el enfoque conceptual y metodológico para la construcción de este Plan. El tercero, que es el núcleo de este documento, despliega un análisis sectorial multidimensional que abarca tanto los sectores de la demanda, como los de la oferta y transformación de la energía, en donde se evalúa el impacto de las medidas priorizadas, dando paso a la formulación de recomendaciones sectoriales y transversales, y que define las medidas y acciones que podrían ser objeto de incentivos tributarios; permitiendo acelerar la implementación de la política nacional de eficiencia energética durante el período 2026-2035.

1 PUNTO DE PARTIDA: AVANCES EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN COLOMBIA

En esta sección se presentan de manera resumida, los principales avances en materia de formulación e implementación de políticas, planes e iniciativas para la promoción de la eficiencia energética en Colombia, a partir de las prioridades establecidas en los últimos Planes de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PAI PROURE (2017-2022 y 2022 – 2030).

Hacen parte de este compendio, los planes, normas e iniciativas de eficiencia energética público-privadas, que conjugan las mejores opciones tecnológicas y de buenas prácticas de operación, con los instrumentos, mecanismos, herramientas y guías, que orientaron y financiaron su desarrollo, así como, los proyectos de cooperación técnica internacional, de la banca multilateral y de las bancas de primer y segundo piso colombiana, que han aportado, al desarrollo de política y normatividad, a la generación de capacidades, al aumento de la productividad de los sectores y al cumplimiento de metas de eficiencia energética establecidas.

Finalmente cabe mencionar, avances importantes relacionados con la financiación para la implementación de medidas y acciones de eficiencia energética, a partir del diseño y desarrollo de programas apalancados con fondos como el Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía – FENOGE (creado a partir de la ley 1715 de 2014), y de la aplicación de los incentivos tributarios de las leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, en donde la UPME ha tenido un papel preponderante al definir, los procedimientos, requisitos, mecanismos y la lista de bienes y servicios para su aplicación.

Todo lo anterior, promueve y facilita el cumplimiento de las metas de política pública en eficiencia energética, constituyéndose en uno de los pilares fundamentales para la Transición Energética Justa, TEJ en Colombia.

“ Todo lo anterior, promueve y facilita el cumplimiento de las metas de política pública en eficiencia energética, constituyéndose en uno de los pilares fundamentales para la Transición Energética Justa, TEJ en Colombia ”

Los avances se presentan a partir de tres dimensiones: 1) Diseño y desarrollo de política, planes y normatividad; 2) Desarrollo de programas, iniciativas y mecanismos con apoyo de

fondos públicos, de la banca y de la cooperación técnica internacional; y 3) Diseño y aplicación de incentivos tributarios para gestión eficiente de energía de las leyes 1715 de 2014 y 2099 del 2021.

1.1 Diseño y desarrollo de política, planes y normatividad

La primera dimensión, y una de las más relevantes desde una perspectiva estructural, corresponde a la evolución del marco de política, planeamiento y normatividad, que define lineamientos y orienta las decisiones en la materia.

Uno de los motivadores que han impulsado el diseño de planes es la ineficiencia y la pérdida de recursos económicos producto de ella. Según el Balance de Energía Útil (IREES-TEP-CORPOEMA y UPME 2018), en Colombia, la energía útil es apenas el 31 % de la final, es decir, la ineficiencia promedio en el consumo es del orden del 67 %. Esta situación le cuesta anualmente al país entre 6,600 y 11,000 millones de USD al año (precios 2018). La adopción de BAT (por sus siglas en inglés) reduciría el consumo (y por tanto el costo) de energía entre un 38 % y un 62 %, según se aplique el nivel tecnológico, nacional o internacional, manteniendo los mismos niveles de producción y confort.

Recientemente, y tras la modelación de los últimos planes energéticos nacionales, PEN 2022-2052 y PEN 2024-2054 en construcción, (MME, 2023 – Hoja de ruta de la transición energética justa), así como de nuevos insumos provenientes de algunas iniciativas y estudios, se ha identificado una mejora en el consumo energético, pasando de una energía útil del 31% al 48%. Lo anterior presume un aumento de la intensidad energética de cerca del 62% (2,29 kJ/COP a 1,41 kJ/COP) (UPME, PEN 2022-2052, 2025).

Un avance sustancial ha sido la evolución en la formulación de los Planes de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PAI PROURE, que se expiden desde el 2010, y que han buscado priorizar medidas y acciones, evaluar su beneficio costo no solo para el usuario sino para la sociedad y articular mecanismos y estrategias; promoviendo la implementación de programas y proyectos de eficiencia energética en Colombia. Estos Planes son formulados por UPME en el marco de sus funciones, y revisados, avalados y adoptados por el MME.

En Colombia, desde el 2010 se avanza en la consecución y análisis de mayor y mejor información de los sectores de consumo prioritario, lo que ha permitido, el diseño e implementación de estos planes, que aun cuando indicativos, han logrado, cuantificar la reducción de consumos de energía a partir de las medidas y acciones innovadoras, maduras desde el punto de vista tecnológico y con retos de implementación bajos, así como la valoración económica de sus beneficios en contraste con sus costos, que evidencian y soportan el diseño de instrumentos de política pública, y de toma de decisiones en inversión

que hagan más productivo y competitivo un país. Lo anterior, ha permitido, entre otros, el diseño y aplicación de los incentivos tributarios, de las leyes 1715 de 2014 y 2099 del 2021.

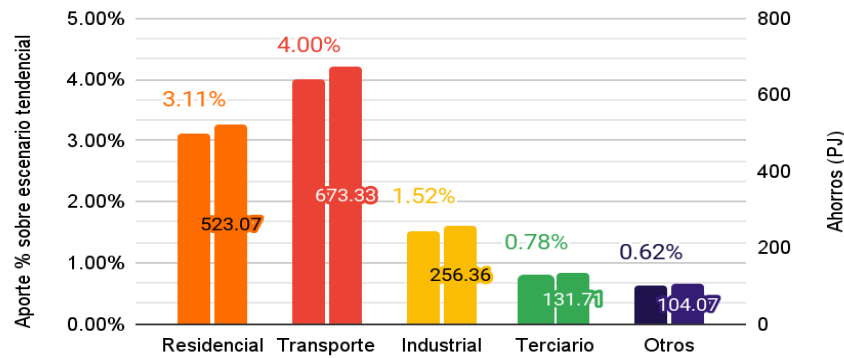
El PAI PROURE 2022-2030, retoma y consolida los avances de los anteriores planes, e incluye nuevos análisis costo beneficio y se articula con otros instrumentos, constituyéndose en la principal herramienta que marca una hoja de ruta para promover el mejor uso de los recursos energéticos en Colombia, desde las etapas de producción y transformación de energía, hasta los diferentes sectores de la demanda.

A diferencia de los PAI PROURE previos que se concentraban principalmente en la identificación técnica de potenciales de ahorro, éste Plan fortaleció el rol de la UPME como formulador técnico, integrando análisis de costo-efectividad, escalabilidad y viabilidad económica; enfoque que ha permitido mejorar la asignación de recursos públicos y privados, sentando las bases para una gestión energética alineada con principios de eficiencia económica y sostenibilidad fiscal y con buenas prácticas internacionales de evaluación ex ante y ex post de políticas públicas.

El PAI PROURE 2022-2030, adoptado mediante resolución MME 40156 de 2022, definió unos objetivos y metas indicativas sectoriales de reducción de consumos energéticos con su consecuente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de un portafolio de medidas y acciones de eficiencia energética, que incluyen la sustitución tecnológica, el reemplazo de combustibles y las buenas prácticas de operación, principalmente.

La meta indicativa de eficiencia energética acumulada es de 1.688 PJ para el período 2022-2030 distribuida principalmente en los sectores transporte (40%), residencial (31%), industrial (15%), y terciario (7,8%) y otros (6,1%). Esta reducción es equivalente al 10 % del consumo energético frente a un escenario tendencial en este período de tiempo, y a un potencial de reducción de emisiones de cerca de 85 MTCO₂, que representan una disminución del orden del 22% de las emisiones de los sectores de consumo final.

Este aporte distribuido sectorialmente sobre el consumo acumulado proyectado al 2030, se ve de la siguiente manera: transporte 4%, residencial 3.11%, industrial 1,52%, terciario 0,78% y otros sectores con 0,62%, que incluye los sectores, termoeléctrico, de hidrocarburos, minero, de construcción sostenible, distritos térmicos y almacenamiento.

Figura 1. Reducción de consumo esperado PAI PROURE 2022-2030

Fuente: UPME - Documento técnico PAI PROURE, 2022.

Esta evolución de los planes, son particularmente relevantes porque transforman la eficiencia energética de una política o plan principalmente indicativo, a un conjunto de obligaciones concretas, con efectos acumulativos sobre los sectores de consumo prioritario y sobre el mercado de tecnologías eficientes.

En el período 2022–2025 se consolida un enfoque que reconoce que el cumplimiento de las metas del PAI PROURE no depende exclusivamente de la ejecución directa de proyectos, sino de la existencia de información de calidad, de mecanismos, y de la estructuración y acompañamiento técnico, que permitan que las oportunidades de ahorro se conviertan en inversiones efectivamente implementables.

En este sentido, el PAI PROURE ha avanzado en la consolidación de una “infraestructura blanda” de la eficiencia energética, alineada con buenas prácticas internacionales, en la cual la asistencia técnica y la articulación con actores públicos y privados son tan relevantes como la inversión directa. Este aprendizaje resulta especialmente valioso para la actualización del Plan, en la medida en que permite orientar los esfuerzos futuros hacia mecanismos que maximicen la efectividad del gasto público y privado en eficiencia energética.

El desarrollo de estudios es fundamental en dicha consolidación, ya que fortalecen los análisis para formular de manera adecuada el Plan. Entre ellos se destacan: i) Caracterización del consumo energético del sector terciario para fortalecer las estrategias y medidas de eficiencia energética, 2022; ii) Propuesta de estrategias de innovación tecnológica en eficiencia energética para el sector terciario (comercial, público y servicios), 2023; iii) Caracterización del consumo final de energía en el sector agropecuario, identificando los principales usos, equipos o tecnologías y energéticos, 2024; iv) Propuesta del consumo indispensable de energía eléctrica de los usuarios vulnerables de estratos 1 y 2, considerando las condiciones climáticas de sus zonas de residencia y las buenas prácticas de consumo eficiente, 2024, en cumplimiento de los artículos 108 y 272 del PND; v) Estimación de los potenciales, metas y medidas asociadas de eficiencia energética en el sector agropecuario y su respectivo análisis

beneficio costo, a partir de la caracterización energética del 2023; y vi) Determinación del consumo energético del sector residencial-urbano colombiano, considerando elementos sociales, económicos y climáticos, a partir de información primaria y secundaria, 2025.

En cuanto al avance asociado a la promoción de la eficiencia energética del sector transporte, el de mayor consumo de energía (aprox. el 40%), podemos mencionar una serie de documentos, normatividad e iniciativas que promueven, combustibles cada vez más limpios y eficientes y tecnologías con mejores desempeños energéticos.

El CONPES 3964 de 2018 de Crecimiento verde, que le apuesta a la actualización del parque automotor con tecnologías de cero y bajas emisiones (eléctricos, híbridos), fomenta la optimización del consumo energético en el transporte de carga y pasajeros, incentiva la logística eficiente y sostenible para mejorar la competitividad económica y alinea al sector con las metas nacionales de reducción de gases de efecto invernadero y la ley 1931 de 2018 de gestión del cambio climático.

Posteriormente se expidieron, la Ley 1972 de 2019 que establece medidas para reducir las emisiones contaminantes de fuentes móviles, enfocándose en vehículos diésel y motocicletas para proteger la salud y el medio ambiente, y la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, ENME, que apoyó la promoción de instrumentos regulatorios, económicos, técnicos y de ordenamiento territorial.

Entre el 2020 y el 2021 se expidieron las resoluciones, 40177 del MADS, mediante el cual se definen energéticos de bajas y cero emisiones, la 40405 del MME que establece las condiciones técnicas para que las estaciones de recarga de combustible fósil puedan ampliar la oferta a energía eléctrica para vehículos eléctricos, y la 40223 del MME, por la cual se establecen condiciones mínimas de estandarización y de mercado para la implementación de infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

En el 2022, se diseñó la Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS), que establece acciones que buscan habilitar el ascenso tecnológico en el transporte, con el fin de contribuir en la mejora de la eficiencia del sector, la mitigación de emisiones de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero (GEI) y se expidió la Resolución 762 de 2022 sobre límites de emisión de fuentes móviles teniendo como criterio fundamental su contenido de componentes nocivos para la salud y el medio ambiente. Así mismo se expidió el CONPES 4075 de Transición energética, que establece la política para reducir emisiones (51% a 2030) y se logre la carbono- neutralidad en 2050.

En algunos modos de transporte el camino hacia la descarbonización es claro gracias a los avances en materia de electrificación, sin embargo, existen retos en la sustitución en ciertas categorías vehiculares (IRENA, 2020a): La electrificación para el transporte férreo y carretero ligero es posible con la tecnología actual, sin embargo, se espera que las baterías de los vehículos eléctricos mejoren en rendimiento y, por ende, sean cada vez más competitivas.

Estudios recientes como el “Estudio de eficiencia energética, reducción de emisiones de CO₂ y etiquetado para motocicletas en Colombia” de 2025, realizan un análisis de la evolución y la prospectiva de motocicletas en el país y propone acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo de combustibles fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero – GEI. En el mismo año, se desarrolló con apoyo del BID el estudio de “Estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de transporte de carga en Colombia”.

Como se evidencia, uno de los retos del sector transporte es la implementación de tecnologías de cero y baja emisiones más costo beneficiosas, que incluyan, el reemplazo de combustibles líquidos por energéticos más limpios y con menos emisiones de gases y partículas. Lo anterior, impulsando la diversificación y el desarrollo de tecnologías con mejores desempeños, que permitan optimizar el uso de energéticos y reducir las emisiones de GEI¹

La alineación del PAI PROURE con las políticas de movilidad sostenible y transición energética, han impulsado la inclusión de vehículos eléctricos, infraestructura de carga y reconversión de flotas y han permitido el diseño y aplicación, de incentivos tributarios, evidenciando un giro estructural hacia tecnologías más eficientes y de menores emisiones, particularmente en el transporte urbano e interurbano.

Considerando que en términos de participación por modo de transporte, el modo carretero concentró al 2024 un consumo energético de 521,65 PJ, equivalentes al 90,1% del consumo energético del sector transporte (BECO 2025), entre las apuestas estratégicas más relevantes que propone el Plan Energético Nacional 2025-2055 se encuentran: 1) impulsar la expansión y desarrollo del transporte público y transporte masivo con un enfoque intermodal y digital basado en el despliegue de sistemas eléctricos tipo metro, tranvía, tren ligero, cable aéreo y buses eléctricos (BRT); 2) Priorizar la movilidad activa y la micro movilidad mediante modos de transporte no motorizados y eléctricos de baja autonomía (bicicletas, patinetas, etc.) fomentando nuevas alternativas de movilidad urbana para distancias inferiores a 4 km; 3) Impulsar la mejora de la eficiencia energética vehicular del sector transporte carretero, apuesta que a su vez se complementa con la siguiente, y 4) Impulsar la incorporación de nuevas tecnologías vehiculares de bajas y cero emisiones como son los vehículos de tecnologías BEV, HEV y PHEV.

Pasando al tema de reglamentos técnicos relacionados con eficiencia energética, se cuenta con las actualizaciones o modificaciones entre el 2023 y el 2026, del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP (modificado por la Resolución 40286 de 2026, el

¹ Según la IEA, el sector transporte representó un 25% de las emisiones de CO₂ globales en 2017. En dicho año, el total de emisiones del sector transporte ascendió a 8Gton CO₂, de los cuales el 97% corresponden a transporte carretero, aéreo y marino. (IEA, 2019).

cual establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público), y del Reglamento Técnico de Etiquetado, RETIQ (modificado por la Resolución 40285 de 2026, el cual establece el uso obligatorio de etiquetas que informen sobre el desempeño de los equipos en términos de consumo energético e indicadores de eficiencia).

Además de los reglamentos técnicos citados, el Ministerio de Minas y Energía expidió mediante la Resolución 40773 de 2023, el Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas (RETSIT), que establece requisitos técnicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas térmicos, incluyendo climatización, refrigeración y distribución de energía térmica.

En este contexto, los marcos regulatorios han tenido actualizaciones progresivas para responder a los desafíos de política pública técnicos y ambientales. A continuación, se desagregan los principales reglamentos y su ámbito de aplicación:

En relación con el etiquetado energético, la UPME recientemente propuso una estrategia nacional dirigida a edificios, vehículos livianos y equipos de uso final.

Para edificios, vale la pena señalar que, las medidas de eficiencia energética no solo están asociada a los equipos de uso final, sino a la intervención a la envolvente, que incluye, el diseño bioclimático, el método constructivo y los materiales de construcción, permitiendo alcanzar reducciones en el consumo de energía y garantizando un nivel de confort, en sinergia con los equipos que se utilicen para acondicionarlo.

El diseño bioclimático concibe la forma, la orientación y los materiales utilizados en la construcción para optimizar el uso de energía bajo las condiciones climáticas del lugar en el que se encuentra. La envolvente corresponde a utilizar materiales y elementos de alto desempeño, para minimizar los efectos que tienen elementos externos al edificio, en la carga térmica y el confort de los usuarios.

Colombia ha promovido la construcción y readecuación de edificios desde el punto de vista energético, a través del diseño e incorporación en el PAI PROURE y en los incentivos tributarios de las leyes 1715 de 2014 y 2099, de una hoja de ruta del Sistema de Etiquetado Energético de Edificaciones, SEEE, en el 2021. Así mismo, se adoptó la resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, MVCT, actualizada por la resolución 194 de 2025, la cual incorpora criterios de eficiencia energética y sostenibilidad en el diseño, construcción y gestión del parque inmobiliario público.

La hoja de ruta del SEEE considera: i) el modelado y análisis energético a partir de los atributos de la edificación tal como tipología y zona climática, ii) el método de evaluación del desempeño energético, los indicadores y su proceso de evaluación, la escala de ponderación y el diseño de la etiqueta; iii) el estado actual del mercado de la construcción; iv) el marco

normativo vigente y, v) las capacidades de actores con potencial participación. Dentro de los elementos evaluados, se caracterizó la influencia de tres grupos de estrategias relacionadas: i) Arquitectura (orientación, sombreado, aislamiento, altura piso a techo, etc.); ii) Cargas del edificio y sistema de iluminación; y iii) Sistemas de climatización de alta eficiencia (MINCIENCIAS UIS UPME, 2021).

Según lo propuesto en el PAI PROURE 2022–2030, a partir de 2025 todas las nuevas edificaciones residenciales y comerciales deberían incorporar medidas pasivas de construcción sostenible. Esta apuesta se articula con estrategias de descarbonización, proyectando la consolidación de las primeras edificaciones bajas en carbono hacia 2030 y la transición progresiva hacia edificaciones de cero emisiones netas de carbono a partir del 2050.

Según las cifras de la International Energy Agency IEA (2025), para 2025 aproximadamente el 60 % de las edificaciones nuevas (terciario y residencial) a nivel mundial estarán sujetas a requisitos de sostenibilidad, ya sea de carácter obligatorio y/o voluntario. En este contexto, las estrategias predominantes corresponden a medidas pasivas, especialmente aquellas relacionadas con el diseño y selección adecuada de la envolvente y la aplicación de principios de arquitectura bioclimática, como principales requisitos de códigos de construcción.

La Resolución 0549 de 2015 se formuló como el instrumento para reglamentar y definir los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y adoptar la primera versión de la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones (en desarrollo del decreto 1077 de 2015 y sus modificaciones). En el 2025, el MVCT publicó la actualización de los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, mediante la resolución 0194 de 2025, estableciendo, dependiendo de su clima, los porcentajes mínimos de ahorro de consumo de energía para edificios, que, sumados a la selección técnica de estrategias bioclimáticas y constructivas, pueden contribuir entre un 15 a 20% de ahorro de energía, comparado con su línea base.

Adicionalmente, en 2022, PNUD, WRI, GEF y el CCCS, formularon una propuesta de Hoja de Ruta Nacional de Edificaciones Neto Cero Carbono, en la cual se establecen metas relacionadas con la categoría de electrificación de usos finales. En este marco se plantea que, para el año 2040, todas las edificaciones nuevas y las grandes renovaciones en áreas urbanas, deberán contar con sus usos finales completamente electrificados.

Otro de los hitos fundamentales de esta dimensión, es la incorporación de obligaciones específicas de eficiencia energética en el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 (Ley 2294 de 2023), particularmente para las entidades públicas. El artículo 237 establece la obligatoriedad para que las entidades públicas adelanten proyectos orientados al ahorro producto del uso eficiente de la energía en edificaciones públicas, reconociendo el rol ejemplarizante del sector público en la transición energética.

En cumplimiento del art. 237 de la Ley 2294 de 2023, y tras la expedición de la Resolución UPME 016 de 2024 que contiene la metodología para el cálculo de la línea base de consumo y el ahorro estimado, en el marco de las auditorías energéticas que deben realizar en sus instalaciones las administraciones públicas; se diseñó, publicó y socializó, el mecanismo de reporte de avance de los resultados de la implementación de las medidas de eficiencia energética por parte de las mismas, junto con una guía que orienta su diligenciamiento, adoptado mediante la circular externa UPME No. 089 de 2025, modificada por la No. 114 de 2025 y la No. 011 de 2026, que amplían el plazo de dicho reporte por parte de las entidades públicas. Plazo que finalizó el 31 de marzo de 2026.

Lo anterior complementado por disposiciones reglamentarias expedidas por el Ministerio de Minas y Energía, como la Resolución 40412 de 2024, así como por la Ley 2407 de 2024 del Congreso, que refuerza el marco jurídico para la gestión eficiente de la energía en entidades públicas.

De otra parte, la respuesta de la demanda de energía implica la participación de consumidores y empresas para gestionar su consumo no solo durante períodos de alta demanda o ante eventos críticos, sino de manera estructural y permanente; permitiendo que se reduzca o modifique estratégicamente a partir del cambio de patrones de consumo, en respuesta a señales de la red o de programas preestablecidos.

El país ha diseñado herramientas relevantes para la medición avanzada o inteligente (infraestructura AMI), donde el usuario tiene información clara y oportuna sobre su uso de la energía, para ajustar su consumo si es el caso, en respuesta a las señales de tarificación dinámica, que también se habilitan con estos dispositivos. De igual forma, los operadores de red pueden pronosticar con mayor certeza las inversiones y mantenimientos que se deben realizar en las redes para reducir las pérdidas técnicas.

El proyecto “Apoyo al despliegue de tecnologías de redes inteligentes en Colombia”² en el que la UPME participó con Carbon Trust, Imperial College London y la Universidad Nacional de Colombia (2020), cuantificó el beneficio económico y las emisiones evitadas de GEI asociadas a las redes inteligentes en el sistema eléctrico. Este estudio estima que los beneficios netos de las redes inteligentes ascenderían a 42 millones de USD en 2030 y hasta 726 millones de dólares en 2040. Estos beneficios corresponden principalmente a ahorros en infraestructura de distribución, en el corto plazo y a los costos evitados en capacidad de generación, en el largo plazo.

Parte de los beneficios asociados con el costo evitado de generación se explican por los supuestos realizados en cuanto a la penetración de esquemas de respuesta en demanda y el

² Este proyecto fue financiado bajo el marco de cooperación de UK PACT. Todos los resultados de este estudio se pueden consultar en el siguiente enlace:
<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Redes-Inteligentes.aspx>

despliegue total de los medidores inteligentes. De acuerdo con este estudio, se podría alcanzar un aplanamiento de la curva de demanda agregada, reduciendo el pico en 2.140 MW para el año 2040.

La flexibilidad en el consumo de energía durante momentos críticos evita la necesidad de aumentar la generación eléctrica para satisfacer picos de demanda, optimizando la eficiencia del sistema. Al reducir la demanda en horas de alto costo energético, se generan ahorros significativos, y pueden incluso tener cubiertos los gastos relacionados con el equipo del programa. Este enfoque estratégico no solo mejora la resiliencia del sistema eléctrico, sino que también ofrece beneficios económicos sustanciales al contribuir a la gestión eficiente de la demanda y aliviar la presión sobre la infraestructura energética.

A la fecha, los mecanismos han estado orientados a dar respuestas a situaciones puntuales, principalmente relacionadas con el cargo por confiabilidad y riesgos de desabastecimiento, y no a motivaciones en eficiencia energética ni al cumplimiento de temas ambientales, aun cuando ya están identificadas estrategias claves como las tarifas horarias y la instalación de equipos de medición avanzada. Las acciones han sido tímidas para formar consumidores más activos que efectivamente respondan a esquemas de respuesta de demanda efectivos como los que se encuentran en las referencias internacionales.

Dentro otro tipo de programas relacionados con la respuesta a la demanda, el más reciente fue el programa “apagar paga” que se implementó en el año 2016 y que consistió en un incentivo a la reducción de consumo por parte de usuarios residenciales, comerciales y sector oficial, a los que se les reconocían \$450/kWh por cada kilovatio ahorrado frente al consumo registrado en febrero de 2016, en caso de que se generará un consumo adicional al del mes de referencia, se cobraba la misma tarifa. Lo anterior, motivado por un momento crítico para el mercado por la presencia del fenómeno del niño (2015-2016).

Dentro de los resultados del programa se señala una reducción de la demanda entre el 2.5% y el 0.05% en los meses de marzo y abril respecto al mes de febrero de 2016. El anexo de la circular 008 de 2021 señala que, a pesar de los resultados de la medida, se identifica una tendencia a la baja de la efectividad de la medida con el tiempo de permanencia de esta.

Finalmente, en relación con el seguimiento a las metas indicativas del actual PAI PROURE 2022 – 2030, éste sigue siendo parcial y se realiza a partir de la aplicación de los beneficios tributarios (leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021) para proyectos de gestión eficiente de energía certificados (ver la dimensión 3 del presente capítulo en donde se toca de manera específica la evolución de la aplicación de éste tipo de incentivos) y de otras iniciativas que incluyen desde su formulación, indicadores de impacto asociados a reducción de consumos de energía y de emisiones.

Como se evidencia, aún no existe un mecanismo que muestre el balance completo e integrado del cumplimiento de las metas indicativas de eficiencia energética del PAI PROURE vigente.

La actualización del PAI PROURE para el período 2026-2035 se plantea no solo como una revisión de metas y medidas, sino también como una oportunidad para crear un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) de la eficiencia energética en Colombia. A través de este mecanismo se promovería la obligatoriedad del cumplimiento de algunas metas, pasando de ser indicativas a vinculantes, e implicaría la articulación con otros sistemas de información sectoriales, así como con registros de la banca y de la cooperación internacional; de forma que sea posible reportar la contribución efectiva de cada sector a las metas indicativas sectoriales/nacionales de eficiencia energética.

1.2 Desarrollo de programas, iniciativas y mecanismos con apoyo de fondos públicos, de la banca y de cooperación técnica internacional

Su importancia radica en la escala de intervención, la focalización territorial y la contribución a la transformación gradual de los patrones de consumo. En este ámbito, en los últimos años, se muestra un tránsito desde intervenciones piloto hacia esquemas con mayor cobertura territorial y sectorial.

Corresponde a las iniciativas que han logrado materializar intervenciones de mayor escala, particularmente en los sectores residencial, terciario e industrial, mediante la acción directa de entidades públicas y de fondos, como el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGÉ), así como el apalancamiento de recursos con apoyo de la banca multilateral y de primer y segundo piso colombianas y la participación de la academia y el sector privado.

Un ejemplo de ello es el programa de Gestión Eficiente de la Demanda de Energía en Zonas No Interconectadas: Proyecto Piloto Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, desarrollado entre los años 2018 y 2023, ejecutado por el FENOGÉ, donde se entregaron más de 4.000 refrigeradores y aires acondicionados, se beneficiaron cerca de 13.000 usuarios de estratos 1, 2 y 3 con la entrega de bombillas tipo LED, permitiendo disminuir los subsidios al sector residencial en 30.600 millones de pesos y se evitaron más de 13.000 ton/CO₂ con la ejecución del programa (Fuente: Presentación del BID en el Seminario de EE ANDESCO, mayo de 2024).

De otra parte, la UPME con el apoyo del BID y el FENOGÉ, estructuraron en el 2018, el primer proyecto piloto de sustitución masiva de refrigeradores en la región Caribe colombiana,

Programa piloto Caribe Eficiente (PEECES), el cual inició en diciembre del 2022 y culminó en enero del 2024, liderado y ejecutado con recursos del FENOGÉ cercanos a los 30mil millones de pesos colombianos. Con esta iniciativa se calcularon ahorros de energía eléctrica de cerca de 33.000 MWh con beneficios ambientales asociado a la reducción de emisiones de cerca de 6.000 Ton CO₂eq/año (60.000 Ton CO₂eq, en los 10 años del proyecto), a partir de la sustitución de aproximadamente 28.000 neveras en hogares de estratos 1 y 2, en tres (3) de los siete (7) de los departamentos de dicha región, Atlántico, Bolívar y Córdoba. Este proyecto contribuyó a la meta del sector residencial en 1,5 TJ, equivalente al 3% de la meta indicativa establecida para dicho sector (Fuente: FENOGÉ Presentación seminario de EE ANDESCO, abril de 2025).

Posteriormente, y tomando como insumos este último piloto, en 2022 se formuló el Programa de Eficiencia Energética Caribe Energía Sostenible, PEECES, con garantía de la nación a través del CONPES 4096 “Concepto favorable a la nación para contratar un empréstito externo con la banca multilateral hasta por USD 34,5 millones, o su equivalente en otras monedas, destinados a financiar el Programa de Eficiencia Energética Caribe Eficiente (PEECES)”. El programa es ejecutado por el MME y el FENOGÉ a través de una unidad coordinadores, apoyada por el DNP y el BID. El Programa inició el 1 de septiembre del 2023, y tiene un período de ejecución de 5 años, es decir, hasta el 31 de diciembre de 2028 (presentación FENOGÉ, junio 2024).

El objetivo central es implementar medidas que permitan mejorar el uso eficiente de la energía en los sectores residencial y oficial de la región caribe, con el fin de reducir las emisiones de GEI, disminuir la demanda de energía eléctrica y generar ahorros en los subsidios de energía por parte del gobierno nacional, con un enfoque de género e inclusión.

Esta iniciativa permitirá un ahorro acumulado de más de 282 GWh de energía (meta de energía eléctrica acumulada al año 5), lo que equivale a 57.260 tCO₂eq en ese mismo período y a una reducción de \$77.355 millones en subsidios y costos operativos para entidades oficiales, gracias a la implementación de medidas de eficiencia energética en toda la región (Presentación Ángela Álvarez, directora del FENOGÉ, junio 2024).

De otra parte, como se mencionó, la cooperación técnica internacional ha estado alineada y aporta a las prioridades establecidas en el PAI PROURE vigente.

Es así como para el sector industrial, la UPME junto con la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, ONUDI, crearon y lideran hoy, el Programa de Evaluación Industrial (PEVI) el cual se constituye en un referente para el balance del PAI PROURE 2022–2030, en la medida en que permite vincular de forma explícita la identificación de medidas particularmente asociadas a buenas prácticas de operación y a las metas sectoriales del Plan, así como regionalizar y fortalecer tanto a las universidades como a la industria local.

El PEVI integra de manera funcional la cooperación triangular entre universidad, empresa y estado, configurando un mecanismo operativo que concreta los lineamientos de política pública en intervenciones técnicas verificables. Se ha consolidado como un instrumento para la implementación de la eficiencia energética, con un enfoque descentralizado que articula capacidades académicas y empresariales regionales con lineamientos de política y normatividad nacionales.

En este contexto, la infraestructura académica y técnica de las universidades permite fortalecer y transferir capacidades para realizar diagnósticos, análisis energético y diseño de medidas. Por su parte la industria o empresa, aporta escenarios reales para la implementación y validación técnica, económica y operativa de soluciones de eficiencia energética, y finalmente, el Estado, a través de la UPME, asegura la estandarización metodológica, la consolidación de resultados y la articulación con el planeamiento y otros instrumentos diseñados de eficiencia energética.

Se han desarrollado cuatro (4) fases, que permitieron crear y fortalecer la metodología de abordaje para la auditoría energética, así como otras herramientas para la registro y reporte de resultados. Se crearon cinco centros del PEVI y se realizaron 91 auditorías energéticas en diversas industrias de sus regiones.

De la fase 4, que culminó en el primer trimestre del 2026, y que buscaba fortalecer los tres (3) centros del PEVI - en las Universidades del Atlántico, UA, Autónoma de Occidente, UAO, y Autónoma de Bucaramanga, UNAB-, y crear dos (2) nuevos – en las universidades Tecnológica de Pereira, UTP, y Francisco de Paula Santander – UFPS; se han identificado y formulado propuestas de mejora en eficiencia a más de 40 industrias nuevas de sus respectivas regiones: Lo anterior, consolida un modelo de operación, aumentando capacidades y por tanto la oferta institucional de las universidades y llevando su conocimiento a las empresas de su zona de influencia para identificar y aplicar oportunidades de eficiencia energética, que aumenten su productividad y competitividad en los mercados.

De acuerdo con estimaciones preliminares de la UPME y consolidando la información de las 4 fases mencionadas, las medidas identificadas por los centros del PEVI podrían aportar ahorros del orden de 4793 TJ en un horizonte de nueve años, lo que equivale aproximadamente al 1,87% de la meta de ahorro indicativa definida para el sector industrial del PAI PROURE 2022-2030. Los resultados preliminares alcanzados con las auditorías finalizadas, identifican un potencial de ahorro de energía de 533 TJ/año, lo que equivale a un 5,88% del consumo base determinado, que se logrará a través de la implementación de más de 574 oportunidades de ahorro planteadas, entre ellas, buenas prácticas y control operacional (66%) y cambios tecnológicos (34%).

Este resultado es indicativo de la magnitud de las oportunidades existentes y refuerza la necesidad de articular la asistencia técnica con instrumentos financieros e incentivos que

aceleren la implementación efectiva de las medidas. El PEVI contribuye entonces a construir un portafolio de proyectos y a reducir barreras técnicas para la inversión en eficiencia energética industrial.

Por su parte, la cooperación SUIZA en 2025, en el marco del proyecto: “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina” (CEEELA, por sus siglas en inglés) ha venido apoyando los desarrollos reglamentarios con información de línea base que permita redefinir metas de eficiencia energética y diseñar instrumentos como la etiqueta energética para edificios colombianos. Esta línea base de desempeño energético de edificaciones residenciales y de oficinas de Colombia, se realizó a partir de información recopilada de más de 90 edificaciones en las ciudades con diferentes tipologías de climas (clima frío, cálido húmedo, cálido seco, cálido templado).

Otro de los proyectos de cooperación técnica internacional es el cofinanciado por el Global Environmental Facility (GEF), ventana 7, “Eficiencia Energética para la Transición a Ciudades Carbono Neutras en Colombia”, que busca contribuir a la reducción de emisiones de CO₂ mediante el incremento de la eficiencia energética en el sector de la construcción. El proyecto incorpora acciones en distintas etapas del ciclo de vida de las edificaciones —diseño, construcción, operación y renovación— así como en infraestructura de espacio público, combinando eficiencia energética y generación distribuida con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCE).

En conjunto, las acciones propuestas equivaldrán a una reducción aproximada de cerca de 4,3 GWh/año de demanda del Sistema Interconectado Nacional (SIN). El alcance del proyecto incluye el fortalecimiento de capacidades institucionales locales, el apoyo al diseño e implementación de normas nacionales de eficiencia energética en edificaciones y espacio público, y el diseño de un mecanismo de seguimiento, información y control que permita verificar el cumplimiento de estándares técnicos. Este componente estructural genera condiciones habilitantes para la transformación del mercado, la replicabilidad del modelo en otras ciudades y la consolidación de señales regulatorias y técnicas consistentes con los objetivos del PAI PROURE.

En términos de mitigación climática, el proyecto tiene como meta declarada una reducción total estimada de 1,5 toneladas de CO₂eq, incluyendo reducciones directas asociadas a las intervenciones demostrativas y reducciones indirectas derivadas de la adopción normativa y la expansión del modelo en múltiples ciudades del país.

Adicionalmente, agencias como la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), a través de programas financiados por la Iniciativa Internacional del Clima (IKI) del gobierno alemán, han acompañado diversas iniciativas orientadas a fortalecer las políticas de eficiencia energética, promover la estructuración de proyectos piloto y apoyar la implementación de soluciones tecnológicas destinadas a reducir el consumo energético en ciudades, edificaciones públicas

y sectores productivos. Entre estas iniciativas se destacan programas como SolER – Soluciones Locales en Energía Renovable y Eficiencia Energética, que contempla recursos cercanos a los 4 millones de euros para fortalecer capacidades en las entidades públicas en cumplimiento del artículo 237 del actual Plan Nacional de Desarrollo, PND, entre otras.

Finalmente vale la pena destacar que, con apoyo del BID, se elaboró entre 2024 y 2025, una propuesta de Plan nacional de innovación y tecnología en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia; integrando las diversas alternativas, estrategias y medidas de innovación y tecnología y establece el beneficio costo de éstas; en procura del mejor uso de la energía y su consecuente reducción de emisiones de GEI.

Estas articulaciones refuerzan el enfoque ejemplarizante del Estado, articula las políticas públicas ambientales y energéticas, y el cumplimiento de los objetivos del PAI PROURE; contribuyendo a consolidar un marco coherente de obligaciones técnicas y de desempeño energético, así como de incentivos.

Desde la evolución del sector financiero para apoyar el desarrollo de las medidas de eficiencia energética priorizadas, en el PAI PROURE 2022-2030 se identificó un conjunto de fuentes potenciales de financiación orientadas a soportar las inversiones requeridas para la implementación del portafolio de medidas de eficiencia energética. Las inversiones en eficiencia energética requieren de movilizar una combinación amplia de recursos provenientes de fondos públicos, banca de desarrollo, sistema financiero, cooperación internacional y mercado de capitales; con el fin de cerrar la brecha de inversión requerida para materializar el potencial de ahorro energético identificado.

Desde la adopción de las diferentes versiones de los PAI PROURE, el ecosistema de financiamiento asociado a proyectos de eficiencia energética en Colombia ha mostrado una evolución significativa, tanto en términos de disponibilidad de instrumentos financieros como de consolidación de marcos institucionales orientados a combinar y movilizar capital hacia inversiones sostenibles. Dentro de los principales avances están:

- i. Consolidación de fondos públicos como el FENOGÉ que en términos de estructura financiera, continúa alimentándose de diversas fuentes definidas en el marco regulatorio, y cuyo origen es el recaudo proveniente del mercado mayorista de energía eléctrica (De acuerdo con los reportes del MME el recaudo transferido a FENOGÉ a través del Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) registró en 2025 un crecimiento aproximado de 4,57% frente al año anterior, alcanzando valores cercanos a \$39.744 millones en el período analizado).

Más allá de su rol como mecanismo de captación de recursos, FENOGÉ ha venido consolidando una estrategia de intervención basada en esquemas de cofinanciación directa de proyectos. Este enfoque ha permitido fortalecer el rol del Fondo como

instrumento catalizador de inversión en eficiencia energética, facilitando la implementación de programas de recambio tecnológico, sustitución de equipos ineficientes y modernización energética en sectores residenciales, comerciales y en edificaciones públicas, constituyéndose en un vehículo efectivo de apalancamiento de proyectos, particularmente en sectores donde la inversión privada por sí sola no resulta suficiente para cubrir los costos iniciales de adopción tecnológica.

- ii. Fortalecimiento de la banca de desarrollo, especialmente a través de entidades como Findeter y Bancóldex, ampliando tanto el volumen de recursos disponibles como la especialización temática de sus instrumentos financieros.

En el caso de Findeter, la línea Compromiso Eficiencia Energética y Conectividad Virtual se ha consolidado como uno de los principales instrumentos de financiamiento para proyectos asociados con transición energética y modernización tecnológica. Esta línea fue objeto de una ampliación significativa en 2024 con una adición de aproximadamente \$1 billón de recursos, elevando el cupo total disponible a cerca de \$2,0 billones. Las condiciones de esta línea contemplan plazos de hasta 10 años y períodos de gracia de hasta dos años. Según reportes institucionales recientes, Findeter registró desembolsos totales cercanos a \$4,2 billones durante 2025, lo que evidencia la capacidad efectiva de colocación de este tipo de instrumentos financieros.

Por su parte, Bancóldex ha consolidado progresivamente una estrategia de financiamiento orientada a apoyar la transición productiva hacia modelos más sostenibles. Durante 2024, la entidad reportó desembolsos cercanos a \$1,03 billones a través de diversas líneas especiales de crédito. Varias de las líneas activas en 2025 incorporan explícitamente la financiación de proyectos de eficiencia energética, incluyendo la sustitución de equipos por tecnologías con ahorros energéticos superiores al 20 %, la modernización de sistemas de iluminación, refrigeración y climatización, así como proyectos de cogeneración y trigeneración.

En conjunto, estos instrumentos reflejan una tendencia creciente hacia la integración de criterios de sostenibilidad energética dentro de la oferta de financiamiento empresarial, ampliando las posibilidades de inversión en tecnologías eficientes dentro de sectores productivos.

- iii. Promoción de un ecosistema de finanzas sostenibles, que ha generado nuevas oportunidades para movilizar recursos privados hacia proyectos de eficiencia energética, el Protocolo Verde, suscrito entre el Gobierno Nacional y el sector financiero, que se ha consolidado como una herramienta de articulación entre política

pública y financiamiento privado. La renovación del Protocolo hasta 2027 incorporó una línea específica de gestión del cambio climático, ampliando el alcance de los compromisos del sector financiero en materia de financiamiento sostenible y promoviendo el desarrollo de productos financieros orientados a inversiones que contribuyan a la reducción de emisiones y al uso eficiente de los recursos energéticos.

Este proceso se inscribe, además, en el marco más amplio de la política climática del país, en particular, el de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC 3.0). En este contexto, la eficiencia energética se configura como una de las áreas con mayor potencial para la estructuración de proyectos financiables, dada su capacidad de generar reducciones significativas de emisiones mediante inversiones en modernización tecnológica, optimización de procesos productivos y mejora en la gestión energética.

De manera complementaria, la Taxonomía Verde de Colombia, liderada por el Ministerio de Hacienda y la Superintendencia Financiera, se ha consolidado como un instrumento clave para orientar la canalización de recursos hacia actividades con impacto ambiental positivo, al establecer criterios técnicos que permiten clasificar inversiones elegibles en ámbitos como eficiencia energética, energías renovables y reducción de emisiones. Este marco contribuye a generar un lenguaje común entre entidades financieras, inversionistas y reguladores, facilitando la estructuración de productos financieros específicos para proyectos que mejoran el desempeño energético de procesos productivos, edificaciones e infraestructuras.

Este marco institucional ha contribuido a dinamizar el mercado de capitales sostenibles, donde instrumentos como los bonos verdes, sociales y sostenibles han comenzado a desempeñar un papel cada vez más relevante en la financiación de proyectos asociados con sostenibilidad y transición energética. De acuerdo con reportes de la Bolsa de Valores de Colombia, durante 2025 se registraron 27 emisiones de instrumentos temáticos sostenibles por parte de siete emisores, con montos cercanos a \$1,7 billones, incluyendo emisiones relevantes del sector financiero y de entidades territoriales.

De manera complementaria, entidades territoriales y empresas públicas también han comenzado a utilizar instrumentos del mercado de capitales sostenibles para financiar proyectos asociados a sostenibilidad y transición energética. Entre los casos más relevantes se encuentran emisiones realizadas por entidades como el Distrito Capital de Bogotá, así como empresas públicas de servicios como Empresas Públicas de Medellín (EPM) y Grupo Energía Bogotá, cuyos marcos de financiamiento

sostenible contemplan inversiones relacionadas con eficiencia energética, modernización de infraestructura energética y reducción de emisiones.

La consolidación de este tipo de mecanismos financieros amplía las alternativas de financiamiento disponibles para apoyar el cumplimiento de las metas de gestión eficiente de la energía definidas en el marco del PROURE, al tiempo que contribuye al alineamiento del sistema financiero con los objetivos nacionales de mitigación y transición energética.

- iv. Evolución de los mecanismos de cooperación internacional y financiamiento climático, los cuales continúan desempeñando un papel relevante en el fortalecimiento de las capacidades institucionales, técnicas y financieras necesarias para impulsar proyectos de eficiencia energética en el país. Estas iniciativas han contribuido a consolidar un entorno habilitante para la implementación de políticas de eficiencia energética, así como para el desarrollo de proyectos susceptibles de acceder a financiamiento climático y a recursos del sistema financiero.

Como se puede observar, el país cuenta actualmente con un conjunto más amplio y sofisticado de mecanismos financieros que incluyen fondos públicos de cofinanciación, líneas de crédito especializadas de banca de desarrollo, instrumentos de estructuración financiera, mercados de capitales sostenibles y mecanismos de cooperación internacional.

No obstante, persiste el desafío de mejorar la articulación y los sistemas de seguimiento y trazabilidad de los recursos movilizados hacia proyectos de eficiencia energética, en la medida en que muchas de las fuentes disponibles apoyan simultáneamente proyectos de energías renovables, transición energética o sostenibilidad empresarial.

1.3 Diseño y aplicación de incentivos tributarios para la gestión eficiente de la energía de las Leyes 1715 de 2014 y 2099 del 2021

En el período 2022–2025, el régimen de incentivos tributarios para proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y de Gestión Eficiente de la Energía, desarrollado a partir de la Ley 1715 de 2014 y fortalecido por la Ley 2099 de 2021, se consolida como uno de los principales instrumentos de política pública que han impulsado la adopción de tecnologías cada vez más eficientes y la decisión de inversiones de los agentes.

La UPME en el marco de las funciones, específicamente las relacionadas con la promoción, diseño y establecimiento de planes, programas y proyectos orientados hacia el uso eficiente,

ahorro y conservación de energía y la evaluación de incentivos para proyectos de eficiencia energética que logren una reducción del consumo y un aprovechamiento óptimo de la energía; ha formulado los PAI PROURE que son adoptados por el MME, y ha expedido a partir de lo establecido en éste Plan, para el caso de GEE, la reglamentación para el procedimiento, requisitos, lista de bienes y servicios y proceso de evaluación correspondiente.

El PAI PROURE, aun cuando indicativo, define la hoja de ruta en materia de eficiencia energética para Colombia y se articula con los incentivos tributarios de las leyes 1715 de 2024 y 2099 de 2022, facilitando la toma de decisiones de inversión.

Antes de las Leyes 1715 de 2014 y de la 2099 de 2021 de transición energética, los proyectos en gestión eficiente de energía ya gozaban de algunos beneficios como el descuento de renta del artículo 255 del Estatuto Tributario y la exclusión de IVA del artículo 424 del Estatuto Tributario; ambos previa concertación de metas ambientales a partir de las metas de eficiencia energética, principalmente con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS.

Con la evolución del sector energético para avanzar en la transición energética, la Ley 2099 de 2021 reforzó este marco, ampliando los beneficios tributarios de la Ley 1715 de 2014 para incluir expresamente a los proyectos de Gestión Eficiente de Energía, GEE, en los beneficios de depreciación acelerada, exclusión de IVA y arancel (La 1715 ya incluía a la deducción de renta para proyectos de GEE); unificando así el régimen de beneficios y vinculando directamente el aporte a las metas en eficiencia energética establecidas en el PAI PROURE formulado por la UPME y adoptado por el MME.

El PAI PROURE 2022-2030, determinó metas indicativas sectoriales de reducción de consumos energéticos con su consecuente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de un portafolio innovador de medidas y acciones de eficiencia energética identificadas y priorizadas, asociadas a sustitución tecnológica, reemplazo de combustibles y buenas prácticas de operación, principalmente, y de un análisis beneficio costo en tres niveles, el privado, el sistema energético y la sociedad que aportan a la priorización de proyectos objeto de esto tipo de incentivos tributarios. Como se mencionó, este enfoque ha permitido justificar y definir instrumentos de política pública con mayor impacto agregado.

Gracias a esta sinergia, quienes desarrollen proyectos de eficiencia, pueden acceder a incentivos como la exclusión del IVA, deducción de renta, exención de aranceles y depreciación acelerada. Además, esta norma definió que la UPME es la autoridad encargada de evaluar y certificar que las inversiones cumplen los requisitos técnicos para acceder a dichos beneficios.

La UPME ha desempeñado un rol técnico central a través de la reglamentación del proceso, de la definición de los procedimientos y mecanismos y de la lista de B&S, así como del

proceso y definición de requisitos para la evaluación y certificación de proyectos que acceden a beneficios tributarios, lo cual ha permitido elevar el estándar técnico de las iniciativas presentadas y mejorar la trazabilidad de las inversiones en eficiencia energética.

Se han expedido recientemente por parte de la UPME, las resoluciones 463 de 2018, 196 de agosto de 2020 (estas les aportaron a las metas establecidas en el PAI PROURE 2017-2022), la 319 de agosto 2022 y las 135 y 736 del 2025, que le aportan al PAI PROURE 2022-2030.

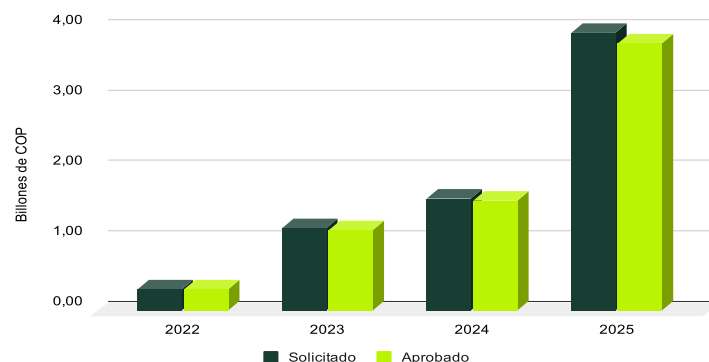
Con respecto al aporte de los proyectos de GEE certificados de incentivos tributarios a las metas indicativas del PAI PROURE 2022-2030, y a partir de la expedición de la resolución UPME 319 de 2022 de agosto 31 del 2022 y de sus posteriores modificaciones, durante el período del 2022 al 2024, el 87% de las solicitudes para acceder a los incentivos tributarios fueron certificadas favorablemente por la UPME, mientras que el 13% correspondieron a solicitudes desistidas, rechazadas y certificadas desfavorablemente.

Por otra parte, durante el año 2025 (corte al 31 de diciembre), se recibieron 3.866 solicitudes de las cuales, el 58,7% han sido certificadas favorablemente (corte 13 de abril del 2026), el 22,5% se encuentra en trámite y el 18% restante corresponde a solicitudes desistidas, rechazadas o certificadas desfavorablemente (Corte 13 de abril de 2026).

El mayor número de solicitudes por medida y acción, están asociadas a la adquisición de ascensores (medida activa de construcción sostenible), representando cerca del 50% del total, seguido de la adquisición de vehículos eléctricos, con alrededor del 24,7%. Otras medidas y acciones corresponden a luminarias LED (4,33%), instalación de equipos y estructuras de control solar en vidrios (3,4%) y adquisición de motores y variadores de alta eficiencia (3%).

El valor aprobado, ha representado el 99% en 2022, 97% en 2023, 98% en 2024 y 97% en 2025, del valor total solicitado para los proyectos con certificación favorable. A la fecha, se ha aprobado el 97,4% del valor solicitado en el año 2025 (Corte 13 de abril de 2026).

Figura 2. Inversión solicitada vs inversión aprobada por año (billones de pesos)

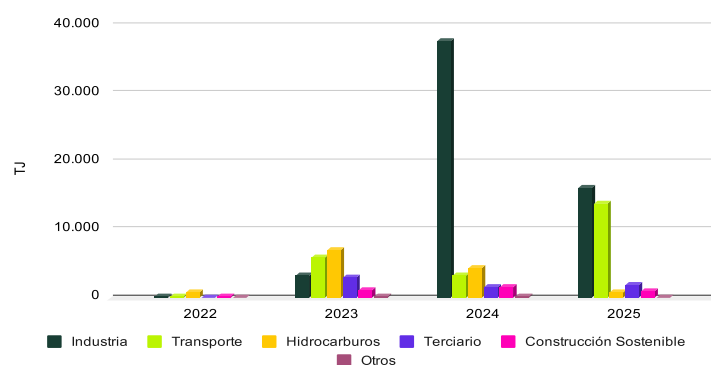


Fuente: UPME.

En términos de inversión aprobada, la construcción de sistemas férreos para el transporte de pasajeros o carga concentra el valor más alto con 1.68 billones de pesos, lo que equivale al 34% del total aprobado, seguido por la adquisición de ascensores y escaleras eléctricas con 0.73 billones (14,9%), la implementación de luminarias LED con 0.56 billones (11,4%), la adquisición de vehículos eléctricos con 0.54 billones de pesos (9,9%) y la adquisición de equipos de refrigeración y compresores con 0.33 billones (8,8%).

En cuanto a los ahorros y su aporte a la meta indicativa de eficiencia energética por sector y nacional del PAI PROURE, el sector industrial registra el mayor ahorro energético dentro del conjunto de proyectos aprobados, alcanzando más de 37.800 TJ en 2024. Este resultado se encuentra fuertemente concentrado en unas pocas solicitudes que representan más del 60% del total del sector. El sector transporte muestra una tendencia similar, gran parte del ahorro total proviene de unos pocos proyectos de gran tamaño, particularmente férreos (Para calcular el ahorro se asume que el proyecto entra en operación en la fecha de la certificación por parte de UPME y se proyecta hasta el 2030 que es el límite establecido del período PAI PROURE 2022-2030).

Figura 3. Ahorro de energía estimado por sector



Fuente: UPME.

El ahorro total estimado de los proyectos aprobados asciende a 100.386 TJ, concentrándose principalmente en acciones del sector industrial. Las tres acciones más representativas son la adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor (18,2%), la adquisición de sistemas de aire acondicionado eficientes (14,5%) y la implementación de aislamientos térmicos (13,5%); las cuales aportan en conjunto más del 45% del ahorro total. En cuarto lugar, se encuentra la construcción de sistemas férreos eléctricos para el transporte de pasajeros o carga.

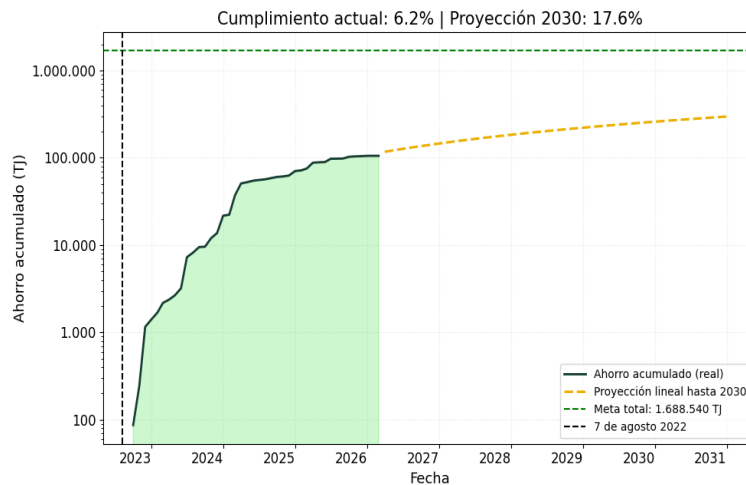
Al analizar el porcentaje de cumplimiento de la meta de ahorro energético por sector, se observa que los Distritos Térmicos y el sector de Hidrocarburos presentan los mayores avances relativos, con niveles de cumplimiento cercanos al 43%.

En contraste, aunque el sector industrial es el que más aporta en términos absolutos de ahorro energético, su cumplimiento frente a la meta sectorial es de apenas 22%, reflejando un alto potencial aún por desarrollar.

Los sectores de Construcción Sostenible, Terciario y Transporte presentan avances inferiores al 10%, mientras que Almacenamiento de Energía Eléctrica y el sector Minero registran porcentajes marginales.

A continuación, se presenta el ahorro acumulado total al 2030:

Figura 4. Ahorro acumulado total y proyección hasta 2030

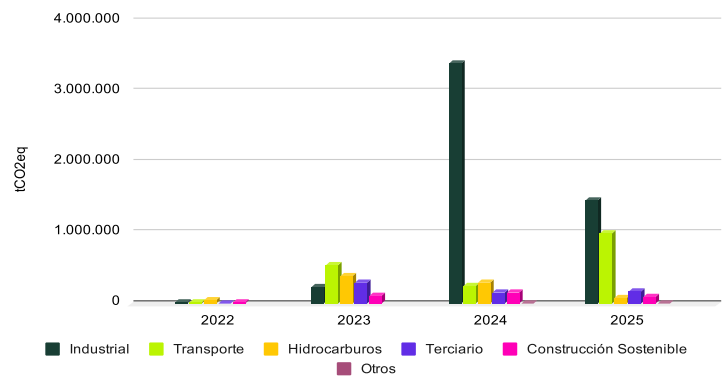


Fuente: UPME.

La reducción acumulada de emisiones estimada asciende a un poco más de 8 millones de toneladas de CO₂ equivalente, mostrando una distribución por sectores muy similar a la observada en el ahorro energético.

El sector industrial concentra la mayor contribución a la mitigación, seguido por el sector transporte, ambos con una participación dominante a lo largo del periodo 2023–2025. Los sectores, terciario, hidrocarburos y construcción sostenible presentan aportes complementarios.

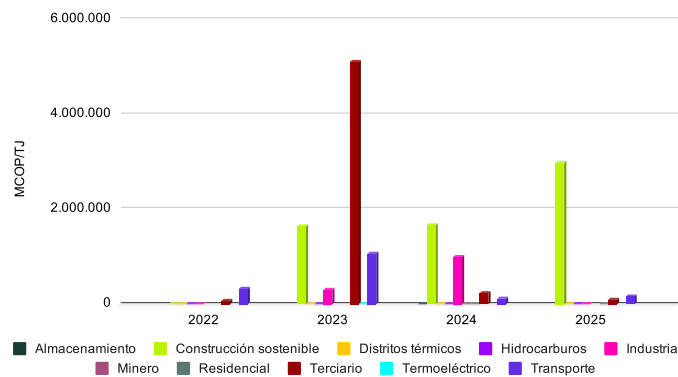
Figura 5. Reducción de emisiones por sector



Fuente: UPME.

Se establecieron algunos indicadores asociados a los costos del ahorro de energía y de abatimiento, por ejemplo, en Construcción Sostenible, se presentan los costos por unidad de energía ahorrada más altos para los diferentes años, mientras que en el sector Industrial este comportamiento se observa únicamente en 2023. En contraste, sectores como Transporte y Terciario muestran costos de ahorro relativamente menores.

Figura 6. Costo de ahorrar energía por sector



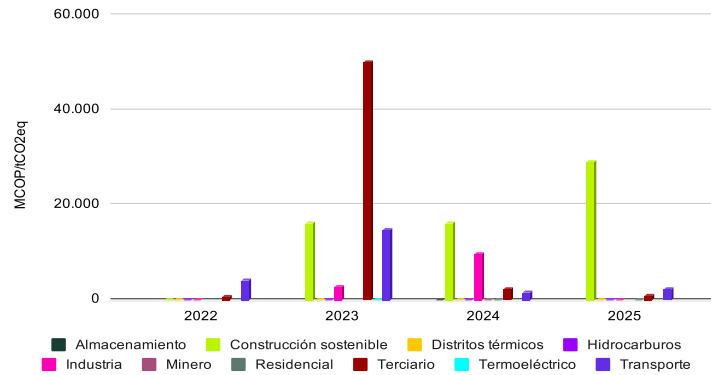
Fuente: UPME.

En Construcción Sostenible se presenta de forma consistente los valores más altos por unidad de energía ahorrada, confirmando que es, en general, el más costoso en términos de eficiencia energética y ambientales.

En el año 2023, el sector Terciario registra un valor atípico (outlier) significativamente superior al resto, asociado a un único proyecto con bajo rendimiento ambiental respecto a su inversión. En Construcción Sostenible se caracteriza por presentar los mayores costos de abatimiento de manera consistente, mientras que en el sector Industrial este comportamiento se observa

únicamente en 2023. Este comportamiento es prácticamente igual al visto en el costo de ahorro de energía.

Figura 7. Costo de reducir emisiones por sector



Fuente: UPME.

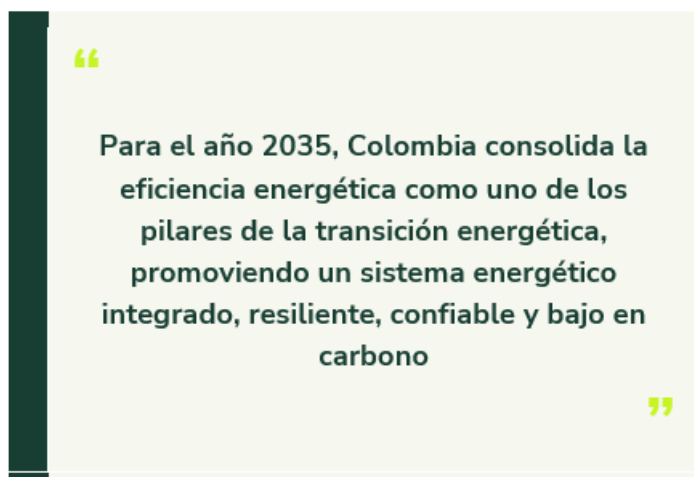
La distribución de los costos de ahorro de energía muestra que las acciones en Construcción Sostenible presentan de forma consistente los valores más altos, confirmando que es, en general, el más costoso en términos de eficiencia energética.

En el año 2023, el sector Terciario registra un valor atípico (outlier) significativamente superior al resto, asociado a un único proyecto con bajo rendimiento energético respecto a su inversión.

2 VISIÓN Y OBJETIVOS

2.1 Visión: la eficiencia como habilitadora de la transición energética

Para el año 2035, Colombia consolida la eficiencia energética como uno de los pilares de la transición energética, promoviendo un sistema energético integrado, resiliente, confiable y bajo en carbono. A través de la gestión eficiente de la energía, la electrificación, la incorporación de tecnologías de alto desempeño energético y la gestión inteligente de la demanda, el país maximizará el aprovechamiento de sus recursos, incrementará la productividad y competitividad de los sectores económicos, reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorará la calidad de vida de la población, favoreciendo la accesibilidad y asequibilidad de la energía para todos los usuarios.



Para materializar esta visión, el PAI PROURE se constituye en el principal instrumento nacional de planificación en materia de eficiencia energética, en donde se identifican, evalúan, priorizan y articulan las medidas y acciones con mayor potencial técnico, económico y ambiental. Su implementación acelerará la adopción de sistemas de gestión de la energía, mejores prácticas

operacionales y la sustitución progresiva de tecnologías y energéticos por alternativas de mayor eficiencia y menor intensidad de carbono. Esto, mediante el fortalecimiento de instrumentos regulatorios, financieros, tecnológicos e institucionales que faciliten su adopción en los diferentes sectores de la economía y territorios del país.

De esta manera, el PAI PROURE contribuirá a la transformación de los patrones de producción y consumo, así como al cumplimiento de los compromisos nacionales en materia de mitigación y adaptación al cambio climático.

2.2 Objetivo general

Definir, evaluar y priorizar las medidas, acciones, metas indicativas, estrategias e instrumentos, de política pública que promuevan el uso racional y eficiente de la energía, orientando su implementación en los sectores de la demanda y de la oferta y transformación de la energía, mediante la incorporación de tecnologías de alto desempeño, la gestión eficiente de la energía, la electrificación sostenible de los usos finales y la adopción de mejores prácticas operacionales, contribuyendo a la transformación progresiva del sistema energético colombiano.

2.3 Objetivos específicos

- i. Actualizar y consolidar el portafolio de medidas de eficiencia energética para los sectores de la demanda energética y de la oferta y transformación de la energía, incorporando avances tecnológicos, buenas prácticas operacionales y sustitución de energéticos.
- ii. Priorizar medidas costo-eficientes de eficiencia energética que faciliten la implementación de acciones en los sectores evaluados, considerando sus impactos positivos para el usuario, el sistema energético y la sociedad.
- iii. Establecer metas indicativas de ahorro energético y de mitigación de emisiones, a partir de la evaluación y priorización de medidas de eficiencia energética en los sectores analizados.
- iv. Ampliar la frontera de eficiencia energética del país, mediante la identificación de nuevas oportunidades de ahorro en los sectores de la demanda, así como la optimización del potencial en los sectores de la oferta y transformación de energía.
- v. Promover la transformación progresiva de los usos finales de la energía mediante la transición eficiente hacia energéticos de bajas emisiones, la incorporación de tecnologías de alto desempeño energético y la adopción de sistemas de gestión de la energía y mejores prácticas operacionales, contribuyendo a incrementar la productividad, competitividad y sostenibilidad de los diferentes sectores económicos.

- vi. Fortalecer la implementación de la política nacional de gestión eficiente de la energía mediante estrategias transversales orientadas al desarrollo de capacidades técnicas, la promoción de instrumentos financieros, la articulación institucional, la transformación de mercados, la gestión activa de la demanda y el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo, reporte y verificación.

3 ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

A partir de la experiencia adquirida con la formulación de los diferentes planes indicativos y en especial, la adquirida en la del PAI PROURE 2022-2030, se ha logrado integrar y evaluar elementos técnicos energéticos, económicos, ambientales y sociales, que fortalecen la planeación integral en materia de eficiencia energética para Colombia y permiten priorizar y promover las medidas más costo eficientes en los diferentes sectores de la economía.

En este sentido, se busca asegurar la consistencia entre las caracterizaciones energéticas sectoriales, las metas sectoriales y nacionales de eficiencia energética, los compromisos de mitigación y adaptación al cambio climático y las estrategias de otros planes de referencia, así como avanzar desde el punto de vista técnico y tecnológico para consolidar el diseño de acciones y medidas en eficiencia energética con potencial de ser implementables, de acuerdo con las particularidades de cada sector económico que deban ser recomendadas junto con los instrumentos de política pública que hagan viable y aceleren su implementación.

Dentro de las consideraciones iniciales está la definición y priorización de los sectores de consumo a analizar, que corresponden a transporte, industria manufacturera, terciario (comercial, servicios y público), residencial, y agropecuario, éste último, como novedad en esta versión. Así mismo, se analizan desde la oferta y transformación, los sectores de hidrocarburos (petróleo y gas), minería y termoeléctrico.

Este análisis, toma como insumos, las caracterizaciones de consumos energéticos (tipos de energéticos, usos significativos de la energía, tecnologías y prácticas de operación empleadas), Los Balances Energéticos Colombianos, BECOs, así como estudios, iniciativas y proyectos públicos, privados y de cooperación técnica internacional, que determinan las oportunidades de mejora energética y su costo efectividad para hacer más competitivo y productivo un sector.

En todos los casos se cuenta con información desagregada a nivel sectorial, del tipo de energético, uso, tecnología, equipos, y prácticas de operación, que en general y según el sector en mayor o menor proporción, corresponden a procesos asociados con fuerza motriz, calor directo e indirecto, iluminación, refrigeración y acondicionamiento de espacios, entre otros. Además, para cada uno de estos usos se pueden incluir los diferentes energéticos: energía eléctrica, gas natural, carbón, diésel, GLP, gasolina, entre otros.

Se establece a partir de lo anterior, una línea base y una línea meta energética para cada uno de los sectores priorizados, en el periodo de 2026 al 2035, según criterios preestablecidos,

entre ellos, la alineación con las metas ambientales específicamente con los compromisos de la Contribución Nacionalmente Determinada – NDC- del acuerdo de Paris para Colombia al 2035.

Se presenta a continuación el esquema del enfoque conceptual y metodológico que permitió la actualización del PAI PROURE 2026 – 2035:

Figura 8. Enfoque metodológico para la formulación del PAI PROURE 2026-2035



Fuente: UPME.

De esta manera, la formulación del PAI PROURE 2026-2035 se estructura en cinco etapas metodológicas. En la primera, se elaboran las líneas base consumo energético sectorial, teniendo como referente los datos históricos y en especial el comportamiento de consumo del año base, que para este caso es el 2024, mediante la armonización de información proveniente del Balance Energético Colombiano (BECO), el Balance de Energía Útil (BEU), las caracterizaciones energéticas sectoriales, los modelos de proyección de planes energéticos de referencia y otras fuentes oficiales disponibles; las cuales permiten definir los supuestos en la proyección de la línea base para el periodo 2024-2035.

Este ejercicio busca identificar los comportamientos tendenciales de los energéticos, los usos significativos de la energía, las variables técnicas y económicas determinantes en cada sector, estableciendo así el escenario de referencia sobre el cual se evaluarían las oportunidades de eficiencia energética.

La segunda etapa consiste en la identificación, formulación y priorización de medidas de eficiencia energética. Para ello se realiza una revisión de las acciones contempladas en el PAI PROURE vigente, complementada con estudios recientes y otros ejercicios de caracterización energética, de análisis tecnológicos, así como de consultas a expertos en la materia, públicos, privados y de la academia principalmente, que aportan a la validación técnica; permitiendo complementar y fortalecer los supuestos técnicos, la definición de los potenciales y metas de eficiencia energética por cada uno de los sectores.

En esta etapa, las medidas son definidas y clasificadas en tres categorías: i) Reconversión tecnológica, ii) Sustitución de combustibles y iii) Buenas prácticas operacionales (BPO), incluyendo dentro de estas, estrategias asociadas a sistemas de gestión de la energía, digitalización, automatización, monitoreo y control. Posteriormente, las medidas de eficiencia energética son priorizadas considerando su madurez tecnológica, el reto de implementación asociado entre otros, a la disponibilidad y posibilidad de escalamiento de la tecnología en el mercado, su contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y finalmente, de su potencial de ahorro energético aplicable.

En la tercera etapa se construyen las líneas meta sectoriales para el horizonte 2026-2035, a partir de los cambios de consumo esperados según las medidas de eficiencia energética priorizada y su correspondiente meta indicativa de reducción energética, producto de la posible implementación de dichas medidas, así como de su consecuente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. ambiental; Este ejercicio incluye la validación de la coherencia de los resultados frente a las metas del PAI PROURE vigente, y frente a otros ejercicios de planeación nacional e internacional en materia de eficiencia energética.

La cuarta etapa corresponde al análisis beneficio-costos de las medidas identificadas y priorizadas. En este paso, se aplica una evaluación económica desde tres perspectivas: i) Usuario o inversionista, ii) Sistema energético y iii) Sociedad. Para ello se definen los

supuestos económicos relevantes, incluyendo precios energéticos, costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, vidas útiles, tasas de descuento, externalidades y demás variables de valoración económica. Este análisis permite valor económicamente los beneficios netos y establecer la relación beneficio-costos de cada medida para cada una de las perspectivas de análisis, lo que permite identificar sobre quien recaen los esfuerzos de la implementación, los montos de inversión necesarios y, por otra parte, cómo se perciben los beneficios, generando insumos para el diseño de instrumentos de política pública pertinentes que reconozcan las particularidades de cada sector.

Vale la pena señalar, que el análisis beneficio-costos de las medidas priorizadas en el PAI PROURE, 2026-2035 se desarrolla a partir del enfoque del National Standard Practice Manual (NSPM-NESP), adaptado al contexto institucional, regulatorio y energético colombiano. Esta metodología permite valorar de manera integral los impactos económicos, energéticos, ambientales y sociales derivados de la implementación de las medidas orientadas al cumplimiento de las metas indicativas de eficiencia energética.

“ Esta metodología permite valorar de manera integral los impactos económicos, energéticos, ambientales y sociales derivados de la implementación de las medidas orientadas al cumplimiento de las metas indicativas de eficiencia energética ”

Con este análisis se pretenden identificar elementos que contribuyan a eliminar fallas de mercado presentes en la toma de decisiones en materia de eficiencia energética como lo son problemas de agencia, cuando quien asume la inversión es diferente a quien percibe los beneficios y problemas de agente económico miope, asociado a que en el momento de la toma de decisiones no se consideran efectos asociados al consumo futuro, entre otros. (Ver Anexo 1).

Finalmente, la quinta etapa consiste en la consolidación de resultados y la formulación de recomendaciones de política pública y de otros mecanismos y estrategias, que faciliten la implementación de las medidas de eficiencia energética priorizadas en cada uno de los sectores analizados, incluyendo incentivos tributarios, mecanismos regulatorios y financieros, de gestión interinstitucional y tecnológicos; que se identifiquen como claves para facilitar el cumplimiento de las metas indicativas propuestas.

4 ANÁLISIS SECTOR INDUSTRIA

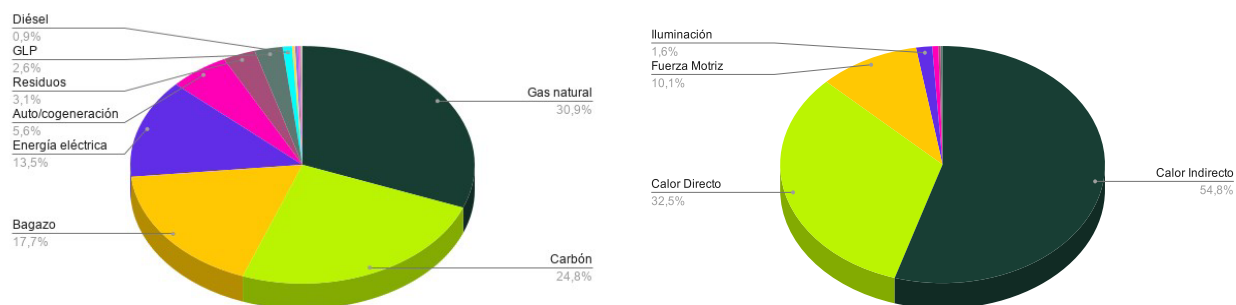
4.1 Línea base de consumo energético sector industrial

En el sector industrial se destaca un número amplio de energéticos, lo cual es explicado principalmente por la diversidad de actividades que agrupa el sector de industria manufacturera, en las que se consideran las actividades económicas entre los códigos CIIU:

Código CIIU	Actividad	Código CIIU	Actividad
10, 11, 12	Alimentos, bebidas y tabaco	23	Minerales no metálicos
13, 14, 15	Textiles y cueros	24, 25	Hierro y acero
16	Madera y productos de la madera	26, 27, 28	Maquinaria
17, 18	Pulpa, papel e imprenta	29, 30	Equipos de transporte
19	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles	31, 32	Industria no especificada
20, 21, 22	Productos químicos		

Fuente: UPME.

De esta manera, de acuerdo con la información del BECO 2025, los principales energéticos consumidos en la industria son el gas natural con el 31%, equivalente a cerca de 94 PJ, seguido del carbón con el 24% cercano a 78,31 PJ, bagazo con 56,77 PJ que representa un 18% de consumo y finalmente, la energía eléctrica del SIN que corresponde al 13% del consumo con cerca de 42 PJ. Adicionalmente, destaca el uso de auto y cogeneración que se ubica en el 6% del consumo con 20,31 PJ de consumo. Con menor proporción, se identifican consumos en la industria de GLP (3%), residuos (3%) Diésel (1%) y menos del 1% energéticos como coque, leña, carbón de leña, petróleo y gasolina.

Figura 9. Consumo energético sector industrial

Fuente: UPME, BECO 2025, LEAP 2022.

Estos consumos están dirigidos principalmente a usos en calor indirecto con el 54,6%, seguido de 32,5% en calor directo y a usos en fuerza motriz con el 10,1% del consumo. El principal equipo asociado a este uso es la caldera con consumos intensivos en los CIU 20 (fabricación de productos químicos), 21 (fabricación de productos farmacéuticos), 22, 23, 25 (fabricación de productos elaborados de metal) y 31 (fabricación de muebles, colchones y somieres) y con menores tamaños en las actividades en los sectores de alimentos, bebidas, textiles y papel principalmente. En cuanto a las tecnologías se identifican calderas acuatubulares, piro tubulares y mixtas.

En otros equipos con calor indirecto, especialmente en el CIU 22 que calientan aire o agua para distintos procesos entre ellos el procesamiento de plásticos y aire caliente en la producción de láminas de plástico, así como el uso masificado de sistema de distribución de vapor para procesos de calentamiento a temperaturas menores de 130°C. (UPME-INCOMBUSTION, 2014).

En calor directo se identifica el uso de hornos, secadores, equipos de extrusión y atomizadores entre otros. Dentro de los equipos de mayor consumo, destacan los hornos ladrilleros, hornos cementeros, hornos de cerámica y hornos para laminado, así como los secadores en sector de cerámicas y ladrilleros, en ese sentido, entre las actividades con mayor consumo y uso de estos equipos se encuentran industrias del código CIU 23 en la fabricación de tabletas y cerámica, hornos en el CIU 23 en las industrias del vidrio, ladrillo, cerámica y cemento, hornos en las otras industrias del CIU 22 (fabricación de cauchos y plásticos), y en la industria siderúrgica en laminado y trefilado en caliente, también se identifican hornos secadores en los CIU 20 al 25. (UPME-CORPOEMA, 2014).

El tercer uso más relevante del sector industrial está en los equipos de fuerza motriz, entre los que se encuentran equipos de generación de movimiento de rotación o traslación para agitación, bombeo, ventilación, turbinas, transporte y otros tipos de transmisión de potencia por medio de acople directo, bandas, correas y otros medios (UPME-INCOMBUSTION, 2014). En este sentido, el sector papel (CIIU 17) es el mayor consumidor de energía eléctrica para generación de fuerza motriz, seguido por los sectores de alimentos, textiles y confecciones. La alta contribución del sector papel a este consumo obedece a que posee la mayor población de motores eléctricos de alta potencia (mayor a 1000 hp) (UPME-INCOMBUSTION, 2014).

La reducción estructural de la oferta de gas natural en el país ha generado presiones al alza en los precios de este energético, lo que obliga a los agentes económicos a replantear sus estrategias de consumo energético y abastecimiento para procesos productivos y generación térmica. Dado que el gas natural cumple un papel relevante tanto como insumo industrial, como en la generación de electricidad, su encarecimiento impacta indirectamente los costos de la energía eléctrica, y modifica las decisiones de inversión y operación de los grandes consumidores.

En este contexto, algunos agentes industriales han manifestado interés en esquemas de autogeneración remota como alternativa para acceder a precios más competitivos de energía eléctrica, y mejorar la viabilidad financiera de sus proyectos, especialmente en sectores electrointensivos y estratégicos como el aluminio y la producción de hidrógeno verde. No obstante, pese a las expectativas generadas en torno a lo dispuesto en el Decreto 1403 de 2024, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), mediante la Circular 136 de 2025, identificó barreras jurídicas y regulatorias que dificultan su implementación efectiva. En consecuencia, persiste incertidumbre regulatoria para las industrias interesadas en desarrollar proyectos de autogeneración remota, particularmente en lo relacionado con el acceso a exenciones o beneficios tarifarios, lo que limita su consolidación como alternativa estructural de abastecimiento energético.

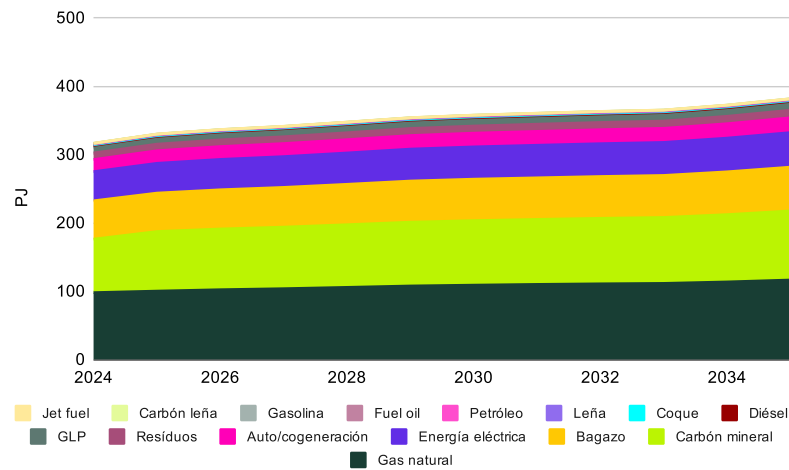
De manera paralela, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), a través del CONPES 4129 de 2023, reconoce la necesidad de revertir los procesos de desindustrialización, evidenciados en la disminución de la participación de la industria manufacturera en el PIB. La política propone incrementar la generación de valor agregado en la producción de bienes y servicios mediante apuestas territoriales y estrategias intersectoriales a nivel nacional, incluyendo el impulso a la producción y ensamble de vehículos con tecnologías cero y bajas emisiones, así como la consolidación de cadenas productivas asociadas a minerales estratégicos (DNP, 2023).

En línea con estos objetivos, el Balance de Resultados 2024 del Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, en el componente de transformación productiva, internacionalización y acción climática, reportó un avance acumulado del 52% frente a un 54,8% programado para el cuatrienio (DNP, Balance de resultados PND 2022-2026, 2024). Aunque se observa una brecha marginal respecto a la meta prevista, se destacan avances relevantes en la estrategia de transición productiva orientada a la eficiencia energética y al uso de nuevos energéticos y minerales como mecanismo para reducir progresivamente la dependencia de combustibles fósiles. En este marco, la participación de las exportaciones de bienes no minero-energéticos y de servicios alcanzó el 59% del total exportado, superando en 11 puntos porcentuales la meta anual (53,2%) (DNP, Balance de resultados PND 2022-2026, 2024).

No obstante, el desempeño reciente del sector industrial refleja un entorno retador. Con base en cifras de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) reportó contracciones del orden de -5% en producción y -4,6% en ventas durante 2024, evidenciando una dinámica sectorial desfavorable. De las 39 ramas industriales analizadas, únicamente 11 registraron crecimiento en el año. En el primer semestre de 2024, los mejores desempeños se observaron en: otros equipos de transporte (18,0%), trilla de café (6,8%), madera (6,5%) y jabones y perfumes (3,7%), actividades que en conjunto aportaron 0,8 puntos porcentuales al resultado agregado; sin embargo, dicha contribución fue insuficiente para compensar la contracción del resto del sector industrial (EAM).

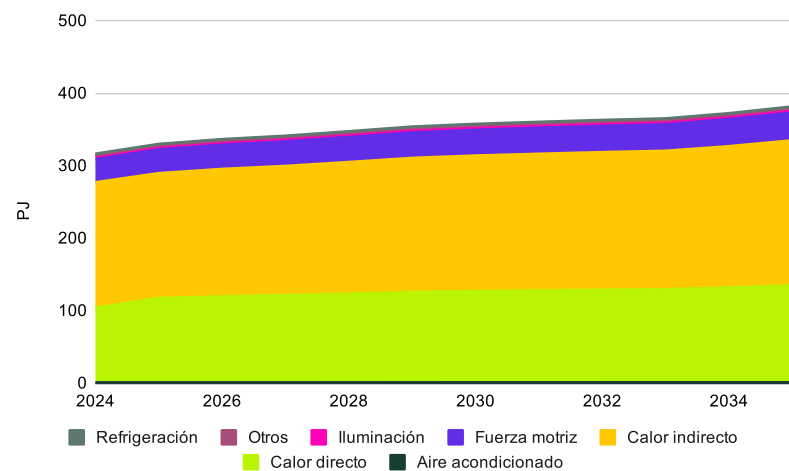
En este contexto, la planeación energética debe incorporar escenarios diferenciados que reflejen: (i) posibles sustituciones de gas por electricidad en procesos industriales, (ii) mayor penetración de esquemas de autogeneración y contratos de largo plazo, y (iii) la evolución regulatoria aplicable a los GCE. La estabilidad del marco regulatorio, la claridad en los cargos aplicables y la definición de condiciones para la autogeneración remota serán determinantes para consolidar señales de inversión y garantizar coherencia entre política energética, transición productiva y competitividad industrial.

Para este ejercicio, el sector industrial se establece la línea base con información identificada tanto de los planes formulados por la UPME, entre ellos el Plan Energético Nacional (UPME, PEN 2024-2054, 2025) la proyección de demanda (UPME, 2024 Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024-2038), y otros estudios de insumo como el Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia (UPME-MITSIDI, 2025).

Figura 10. Proyección línea base de consumo sector industrial- Energético

Fuente: UPME a partir de proyecciones LEAP 2025, con información BECO 2025, BEU y caracterizaciones del sector.

De acuerdo con estos insumos, se prevé un incremento promedio anual del 2% en el consumo total de energía, para el periodo 2025-2035, logrando un consumo cercano a los 381 PJ de energía para el año 2035, considerando una mayor participación en el consumo de combustibles como gas natural, carbón, seguidos por bagazo y electricidad.

Figura 11. Proyección línea base de consumo sector industrial- Uso

Fuente: UPME a partir de proyecciones LEAP 2025.

En cuanto a usos del sector industrial, se concentra en calor indirecto 54,76%, calor directo 32,55%, fuerza motriz 10,07%, así mismo y en menor proporción con un 4.69% lo

relacionado a iluminación, refrigeración y otros. En cuanto a subsectores, los de mayor participación en el consumo de energía se encuentran CIIU 10, 11, 12 alimentos, bebidas y tabaco (41%), CIIU 17-18 pulpa, papel e imprenta (10%), y por último CIIU 23 minerales no metálicos (27%).

Considerando este contexto, el potencial de eficiencia energética se concentra en los usos de calor directo e indirecto, con rangos de mejora que pueden partir del 5% y alcanzar niveles de hasta el 70%, dependiendo de la tecnología y el estado de los sistemas (IEA, 2022; Lawrence Berkeley National Laboratory, 2021).

4.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector industrial

Considerando los usos significativos del sector industrial, las medidas evaluadas de mayor impacto se centran en la implementación y mejora de aislamientos térmicos internos y externos, aislamiento de equipos con resistencia eléctrica de calefacción, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, recuperación de condensados, control de fugas, así mismo en la implementación de sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada), así como la optimización de la combustión calor indirecto, dando como resultado una participación del 41% del total de la meta sectorial.

Así mismo, las medidas de buenas prácticas en la operación, mantenimiento de equipos para los usos de fuerza motriz, calor directo e indirecto, así como las medidas de recuperación de calor, control de fugas, precalentamiento del aire de combustión, y por último la implementación de variadores de frecuencia en ventiladores y bombas, así como sustitución de motores existentes por motores eficientes, aportan un 20% de la meta sectorial.

Por otra parte, y considerando la evolución tecnológica de los equipos que permiten la electrificación de los procesos de calor como las bombas de calor, calderas eléctricas y hornos eléctricos, entre otros, se espera que dichos equipos posibiliten la transición a procesos de mayor eficiencia y menor impacto ambiental, así mismo considerando los límites técnicos de dichos equipos, y la posible implementación directa se estima que el 40% de las industrias en los códigos CIIU 10 al 15, 17, 18, 20 al 25, 31 y 32, podrían implementar dichos equipos y, como resultado de las medidas definidas, se estima un aporte del 19 % a la meta sectorial.

Por último, se agregan medidas relacionadas a la recuperación de calor, control de fugas, precalentamiento del aire de combustión, procesos de cogeneración, implementación de distritos energéticos para calor ENDISTRIC (2025d), frío, energía eléctrica y/o sus combinaciones ENDISTRIC (2025e), así como la mejora en sistemas de refrigeración.

En la siguiente tabla se presentan las medidas analizadas para el sector industrial, así mismo el potencial de ahorro de energía y emisiones.

Tabla 1. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector industrial

Tipo de medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada)	78,24	16,3%	4,37
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Optimización de la combustión calor indirecto	63,58	13,3%	3,47
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Aislamientos Térmicos Internos y Externos y aislamiento de equipos con resistencia eléctrica de calefacción y Actualización de los aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, recuperación de condensados, control de fugas	62,60	13,0%	3,34
Sustitución de combustibles - SC	Sistema de generación de vapor (Gas natural, carbón) con bombas de calor indirecto	51,76	10,8%	3,72
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Recuperación de Calor, control de fugas, precalentamiento del aire de combustión	46,27	9,6%	3,19
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Buenas prácticas en la operación, mantenimiento de equipos; Fuerza motriz, calor directo e indirecto	44,40	9,3%	2,25
Sustitución de combustibles - SC	Sistema de generación de vapor (Gas natural, carbón) con caldera eléctrica calor indirecto	40,53	8,4%	3,02
Renovación tecnológica - RT	Variadores de frecuencia en ventiladores y bombas	35,65	7,4%	2,18
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de hornos a combustión (carbón) por hornos eléctricos de alta eficiencia	27,57	5,7%	2,04
Renovación tecnológica - RT	Economizador para calderas de más de 1000 BHP (Gas natural, biomasa, carbón)	14,37	3,0%	0,64

Tipo de medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Sustitución de combustibles - SC	Sistema de generación de energía eléctrica y térmica con procesos de cogeneración - Distrito energético	5,40	1,1%	0,35
Renovación tecnológica - RT	Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental y sistemas con componentes de alta eficiencia	3,08	0,6%	0,19
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Cogeneración para procesos térmicos y eléctricos	2,74	0,6%	0,10
Renovación tecnológica - RT	Sustitución de motores por eficientes	2,33	0,5%	0,14
Renovación tecnológica - RT	Realizar la optimización tecnológica y control avanzado del sistema de refrigeración	1,26	0,3%	0,08

Fuente: UPME.

Para el escenario planteado en este ejercicio se estima un potencial total de ahorro de energía y ambiental, como se describe a continuación:

Tabla 2. Resultados consolidados sector industrial

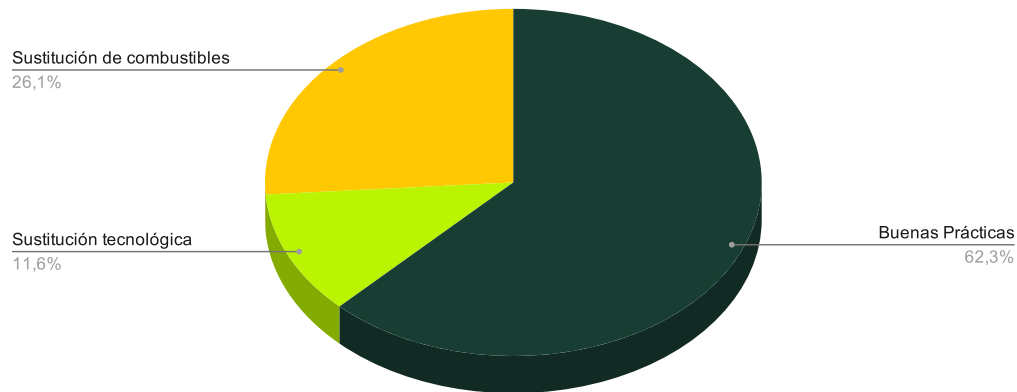
Energéticas	• 479,80 PJ
Ambiental	• 29,08 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

A partir de los resultados anteriormente mostrados, se identifica que el 64% de las medidas evaluadas incluyen elementos relacionados con las buenas prácticas operativas en todos los usos, las cuales son acciones que buscan la mejora operativa de los procesos, el reemplazo de equipos y componentes que aportan la mayor cantidad de energía ahorrada.

Por su parte, las acciones relacionadas con renovación tecnológica y sustitución de combustibles incluyen sustitución de equipos y componentes, así como la sustitución de los energéticos utilizados.

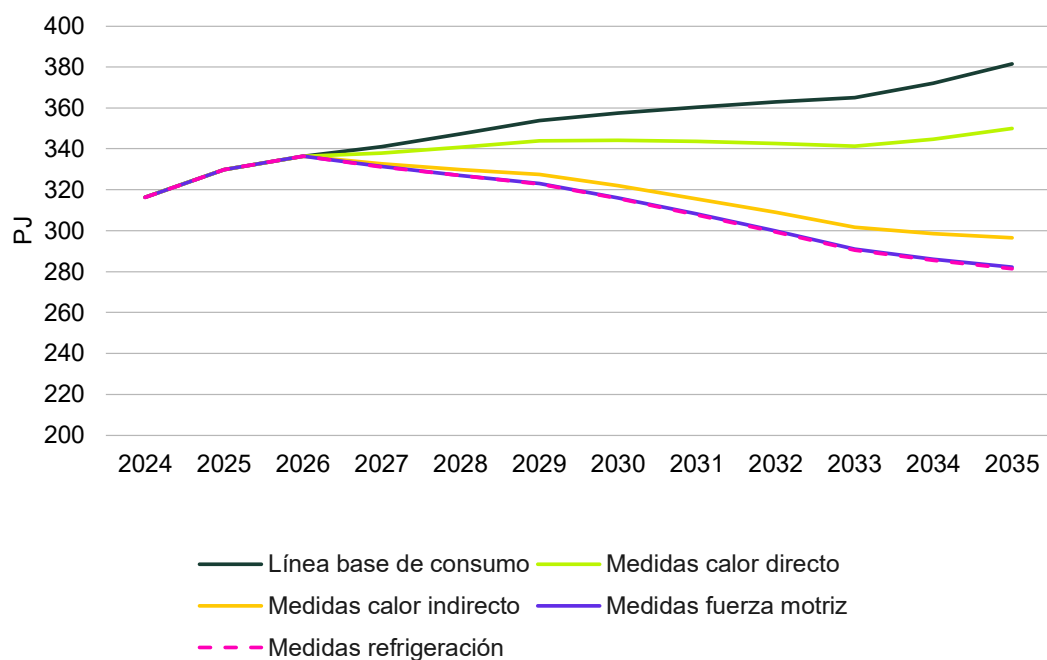
Figura 12. Participación por tipo de medidas en meta sectorial



Fuente: UPME.

A continuación, se muestra la proyección del consumo energético del sector industrial, para el periodo comprendido entre el año 2026 a 2035, expresado en PJ, comparado con el escenario de línea base, y la implementación de las diferentes medidas por uso, se considera un aumento del consumo de energía del sector constante a 2035.

Frente a este escenario, la gráfica muestra el impacto potencial con una mayor participación en los usos de calor indirecto y directo. Las medidas de fuerza motriz y refrigeración, aunque consideran una aportación menor, lograrían reducir el impacto ambiental del sector, buscando el cumplimiento y aporte del sector con metas de sostenibilidad, competitividad y descarbonización del país.

Figura 13. Proyección línea meta por uso del sector industrial

Fuente: UPME.

4.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector industrial

De acuerdo con el enfoque metodológico, a continuación, se presentan los resultados del análisis beneficio costo, para las medidas planteadas.

Tabla 3. Análisis B/C sector Industrial

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
BPO - GN- Optimización de la combustión calor indirecto	0,19	0,45	1,10
BPO - BZ- Optimización de la combustión calor indirecto	0,40	NA	0,22
BPO - CM- Optimización de la combustión calor indirecto	0,06	NA	1,66
BPO - GN - Reducir la presión del vapor, reducir las pérdidas por hollín e incrustaciones, mejorar aislamientos, optimización de purga	1,83	0,45	1,26
BPO - BZ- Reducir la presión del vapor, reducir las pérdidas por hollín e incrustaciones, mejorar aislamientos, optimización de purga	3,73	NA	1,55
BPO - CM- Reducir la presión del vapor, reducir las pérdidas por hollín e incrustaciones, mejorar aislamientos, optimización de purga	0,32	NA	8,77

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
BPO - GN Actualización de los aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, control de fugas, recuperación de condensados	0,52	0,45	1,19
BPO - BZ Actualización de los aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, control de fugas, recuperación de condensados	1,02	NA	1,26
BPO - BZ Actualización de los aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, control de fugas, recuperación de condensados	0,12	NA	6,04
RT - GN-Instalación de economizadores para calderas de más de 1000 BHP	0,69	0,45	1,43
RT - BZ-Instalación de economizadores para calderas de más de 1000 BHP	1,37	NA	1,52
RT - CM-Instalación de economizadores para calderas de más de 1000 BHP	0,15	NA	7,15
RT - Instalación de variadores	3,20	4,91	13,42
RT - Sustitución de motores por eficientes	0,06	4,91	5,79
BPO - Buenas prácticas operativas en motores y sistemas de aire comprimido	78,65	4,91	185,21
SC - GN-Sistema de generación de agua caliente y/o vapor con bombas de calor	1,20	0,01	10,72
SC - GN- Sustitución de hornos a combustión por hornos eléctricos de alta eficiencia	0,21	0,01	1,02
SC - Carbón-Sistema de generación de agua caliente y/o vapor con caldera eléctrica	0,11	0,60	1,61
SC - Carbón-Sistema de generación de agua caliente y/o vapor con bombas de calor	0,35	0,34	6,27
SC - Carbón- Sustitución de hornos a combustión por hornos eléctricos de alta eficiencia	0,07	0,20	1,06
RT - Optimización tecnológica y control avanzado del sistema de refrigeración	0,18	3,37	1,33
RT - Implementación y reconversión de sistemas de refrigeración mediante el uso de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global (GWP)	0,06	6,59	2,41
RT - Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental y sistemas con componentes de alta eficiencia	0,12	6,73	1,97
SC - Implementación de distritos energéticos	0,19	1,07	1,05

Fuente: UPME.

Desde la perspectiva privada, la mayoría de las medidas presentan relaciones beneficio/costo inferiores a 1, lo que indica que, bajo las condiciones actuales de mercado, los beneficios económicos directos para el inversionista no compensan completamente los costos de implementación. Las excepciones corresponden a la sustitución de bombas de agua caliente y vapor por bombas de calor (B/C = 3,73), la sustitución de motores por motores de alta eficiencia (B/C = 78,65) y la implementación de sistemas de gestión de energía (B/C = 1,73),

las cuales evidencian una rentabilidad privada favorable y representan alternativas con mayor potencial de adopción por parte del sector industrial.

Al incorporar los beneficios para el sistema energético y las externalidades ambientales, la rentabilidad de las medidas mejora de manera significativa. La evaluación desde la perspectiva social muestra que prácticamente todas las medidas alcanzan relaciones beneficio/costo superiores a la unidad, destacándose la sustitución de motores por motores de alta eficiencia ($B/C = 185,21$), la implementación de sistemas de generación de agua caliente y/o vapor con bombas de calor ($B/C = 10,72$), la sustitución de motores por motores de alta eficiencia (otra aplicación evaluada, $B/C = 13,47$) y la instalación de economizadores para calderas de más de 1000 BHP ($B/C = 7,15$). Estos resultados evidencian que las medidas de eficiencia energética y electrificación industrial generan beneficios que trascienden los retornos financieros para el usuario, al contribuir a la reducción del consumo energético, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción de costos para el sistema energético. En contraste, las medidas de electrificación de procesos térmicos basados en carbón, como la sustitución por calderas eléctricas, bombas de calor u hornos eléctricos de alta eficiencia, presentan relaciones beneficio/costo cercanas o inferiores a la unidad (entre 0,47 y 1,72), lo que sugiere que su viabilidad económica continúa dependiendo de factores como la evolución de los precios relativos de los combustibles, la intensidad de uso de los equipos, los costos de inversión y la existencia de instrumentos de política pública que faciliten su adopción.

En términos generales, los resultados muestran que las medidas con mayor rentabilidad corresponden a aquellas orientadas a optimizar el desempeño energético de equipos existentes, tales como motores, sistemas de gestión de energía y mejoras operacionales, en general las buenas prácticas de operación mientras que las medidas de electrificación de procesos industriales presentan mayores barreras económicas iniciales. Esto pone de manifiesto la necesidad de complementar su implementación con mecanismos de financiamiento, incentivos económicos y señales regulatorias que permitan capturar los beneficios sociales y ambientales que actualmente no son internalizados por los agentes privado.

4.4 Conclusiones y recomendaciones sector industrial

- Dado que varias de las medidas evaluadas presentan relaciones B/C favorables para la sociedad, pero inferiores a uno para el usuario industrial, se recomienda desarrollar esquemas de concurrencia de recursos que articulen instrumentos tributarios, líneas de crédito verde, recursos de cooperación internacional, banca multilateral, fondos climáticos y mecanismos de financiación empresarial; con el fin de cerrar las brechas

de rentabilidad privada, acelerar la modernización y la promoción de nuevas industrias con tecnologías de mayor eficiencia.

- Se recomienda estructurar un programa nacional de electrificación de procesos térmicos industriales dirigido a aplicaciones de baja y media temperatura, priorizando sectores como alimentos, bebidas, papel, químicos y manufacturas. Este programa debería incorporar asistencia técnica, pilotos demostrativos, acompañamiento regulatorio y mecanismos de mitigación de riesgo para facilitar la adopción de bombas de calor, calderas eléctricas y otras tecnologías emergentes.
- El diseño del anterior programa y la implementación de pilotos debería estar acompañado además de programas técnicos, de educación formal y no formal, que garanticen que, de manera simultánea al uso de nuevas tecnologías, se cuenta con el capital humano que permite la apropiación adecuada de la tecnología y con ello un uso generalizado.
- La eficiencia energética debe integrarse como criterio de elegibilidad y evaluación en programas de modernización industrial, reindustrialización y productividad empresarial, de forma que los apoyos públicos promuevan simultáneamente competitividad, reducción de costos energéticos y descarbonización. Es clave incorporar criterios de eficiencia energética en renovación y expansión industrial, de tal manera que los nuevos proyectos industriales y procesos de modernización incluyan desde su diseño, estándares mínimos de desempeño energético, integración de calor residual si aplica, electrificación y digitalización y monitoreo avanzado.
- Las medidas de buenas prácticas operacionales y de recambio tecnológico asociado a la medición y submedición avanzada, representan cerca del 25% de las oportunidades de eficiencia energética en el sector industrial. Son medidas de inversiones bajas que permiten capturar beneficios sociales, además de constituirse en habilitadoras de medidas de mayor reto de implementación. La relación B/C para la sociedad supera significativamente la unidad.

- Incorporar sistemas de control y automatización en todos los usos energéticos del sector industrial, así como su integración con plataformas de información, herramientas de analítica avanzada e inteligencia artificial, y sistemas de medición y submedición, permite gestionar la energía, optimizando la relación



Las medidas de buenas prácticas operacionales y de recambio tecnológico asociado a la medición y submedición avanzada, representan cerca del 25% de las oportunidades de eficiencia energética en el sector industrial.



consumo por unidad de producto o servicio. Esta estrategia sigue siendo clave para la modernización del sector industrial.

- Como parte del diseño de instrumentos de política pública, se identifica la necesidad de una adaptación regulatoria, en aspectos como respuesta de la demanda, tarifas horarias, modernización de la actividad de comercialización, entre otras, que permita gestionar y materializar los beneficios de medidas de buenas prácticas operacionales, incluidos procesos de automatización y digitalización.
- El aprovechamiento de la energía residual mediante procesos de cogeneración y trigeneración, tanto de forma autónoma y/o a través de la integración con otros energéticos e industrias en una misma zona geográfica mediante distritos energéticos, constituye una estrategia integral para el uso eficiente y la optimización de la energía.
- Reemplazar aislamientos, así como la modernización de equipos de fuerza motriz y de refrigeración y climatización, por tecnologías de mayor eficiencia energética, constituyen estrategias que aportan significativamente a la optimización de la operación y a la reducción del consumo de energía en el sector industrial.
- Las medidas de renovación tecnológica son las que representan los mayores retos, por un lado, porque constituyen esfuerzos de inversión más elevados en comparación con medidas asociadas a las buenas prácticas de operación. Lo anterior amerita el

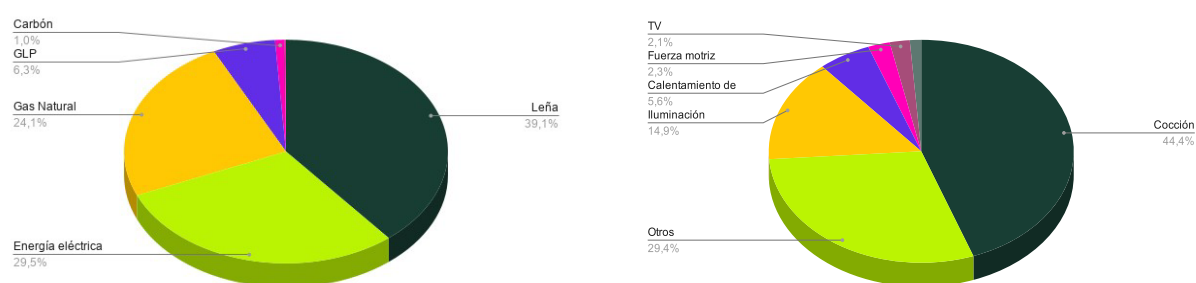
diseño de instrumentos integrales, esquemas de financiamiento, estrategias de capacitación y fortalecimiento de programas dirigidos al sector industrial.

- La transformación necesaria para el sector requiere el impulso de programas de formación de capital humano especializado, que facilite y permita una adecuada transición hacia procesos electrificados, automatizados y digitalizados, para lo cual se resalta la pertinencia del esquema industria-Estado-academia. Se mantiene la recomendación de fortalecer programas que se anidan en las universidades y atienden necesidades regionales, como el Programa de Evaluación Industrial, PEVI.
- Como parte de las labores del PEVI, se recomienda consolidar plataformas nacionales de información energética industrial que permitan realizar benchmarking sectorial, formular y hacer seguimiento a indicadores de intensidad energética y al cumplimiento de metas y la priorización del sector. Esto facilitaría la toma de decisiones y la evaluación de impactos de política.
- Fortalecer la aplicación de sistemas de gestión de energía, la aplicación de auditorías energéticas y motivar la certificación en la norma ISO 50001, continúa siendo clave para el sector industrial, aportando a la construcción del valor agregado de las industrias, motivando factores diferenciales que se construyen desde el uso racional y eficiente de la energía.
- Promover compras públicas y cadenas de suministro bajas en carbono, junto con el desarrollo de mercados para productos industriales de bajas emisiones, puede convertirse en un incentivo adicional para la adopción de medidas de eficiencia energética. Se recomienda, incorporar criterios de huella de carbono, exigir estándares energéticos en compras públicas y promover sellos o certificaciones industriales sostenibles.

5 ANÁLISIS SECTOR RESIDENCIAL

En 2024, el sector residencial representó el 19% del consumo final de energía en el país. Las actividades con usos más intensivos son la cocción con una participación de 44,4% sobre el consumo total. Respecto a la composición por tipo de combustible, el energético de mayor participación es la biomasa (leña) (39,1%) seguido de la electricidad (29,5%), el gas natural (24,1%) y el Gas Licuado de Petróleo (GLP) (6,3%).

Figura 14. Balance de consumo sector Residencial



Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025.

Para esta versión del PAI PROURE se analiza de forma independiente la ruralidad del área urbana, reconociendo que sus patrones de consumo son diferentes, especialmente en relación con los energéticos utilizados en procesos de cocción. En el ámbito rural, la leña representa una parte sustancial de la matriz energética, debido a su uso tradicional y a la baja eficiencia de las tecnologías en las que suele utilizarse, por lo que al realizar un análisis integrado con el ámbito urbano tiende a focalizarse el análisis en ello, desconociendo potenciales clave en el área urbana para alcanzar las metas de eficiencia energética sectoriales.

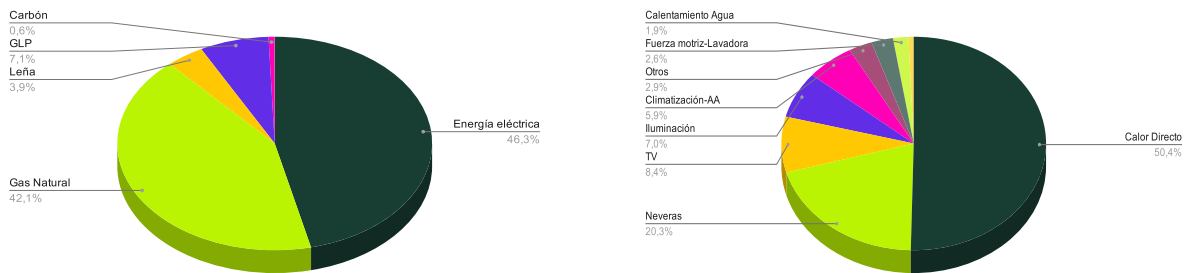
“ Para esta versión del PAI PROURE se analiza de forma independiente la ruralidad del área urbana, reconociendo que sus patrones de consumo son diferentes, especialmente en relación con los energéticos utilizados en procesos de cocción ”

5.1 Sector Residencial Urbano

5.1.1 Línea base de consumo energético sector residencial urbano

En el año base (2024), el consumo energético del sector residencial urbano se caracterizó por una alta participación de energía eléctrica con 73,19 PJ (46,3%), seguida por gas natural con 66,53 PJ (42,1%) y GLP con 11,23 PJ (7,1%) (ver **Figura 15**). Estos consumos se destinan principalmente a calor directo (cocción) con 79,61 PJ, refrigeración 32,03 PJ, entretenimiento 13,35 PJ e iluminación con un consumo de 11,10 PJ. La climatización, el calentamiento de agua y fuerza motriz, cuentan cada uno con consumos inferiores a 10 PJ.

Figura 15. Balance de consumo sector Residencial – Urbano



Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025.

Entre el periodo 2019 a 2024, el consumo de energía en el sector residencial urbano muestra una tendencia de crecimiento sostenido, pasando de 147,10 PJ a 158,10 PJ, lo que representa un incremento total de 7,45%. La energía eléctrica, el energético de mayor consumo en el periodo, es utilizada principalmente en refrigeración (43,8%), iluminación (15,2%) y entretenimiento (18,2%). En la última categoría, aunque se ha dado una adopción progresiva de tecnologías más eficientes (LED), su efecto ha sido parcialmente compensado por el aumento en el equipamiento de los hogares y en los tiempos de uso. Por otro lado, en calentamiento de agua se observa una tasa de crecimiento de uso de energía eléctrica superior a la de gas natural (1,61% vs 1,46%, respectivamente), lo que refleja la preferencia de los usuarios por tecnologías eléctricas.

El uso de energía eléctrica para los aires acondicionados en climatización muestra una tasa de crecimiento en el consumo de 7,3% para el periodo 2019 - 2024, la tasa más alta de crecimiento de consumo en los usos de la energía eléctrica sectorial. Esto podría indicar una probable expansión de las necesidades de confort térmico de las viviendas o una respuesta

de los hogares frente a condiciones climáticas más exigentes, lo que evidencia la importancia de priorizar programas de renovación tecnológica en esta categoría, así como la implementación de prácticas de uso eficiente de la energía.

Por su parte, el consumo de energía eléctrica para cocción en el ámbito urbano presenta una participación marginal; el uso de gas natural (69,5%), GLP (14,5%) y leña (11,6%), son los más representativos en esta categoría.

En el ámbito urbano, la estrategia de eficiencia energética se centra en la reconfiguración de los hábitos de consumo, el mayor uso de nuevos equipos, la sustitución o retiro de activos obsoletos y la ampliación de esquemas de etiquetado que favorezcan la compra de equipos eficientes y/o la optimización del consumo. Este es el caso de las estrategias de cocción, donde además de migrar hacia tecnologías eléctricas convencionales y de inducción, se proyecta la sustitución de quemadores en las estufas a gas natural y GLP para mejorar la eficiencia en la combustión.

Por otro lado, el sector residencial colombiano presenta un reto crítico en refrigeración, ya que 83,2% de los hogares cuenta con neveras y congeladores con promedios de antigüedad que oscilan entre los 7,4 y 12,2 años. Ante ese panorama, resulta estratégica la sustitución tecnológica, la aplicación de esquemas de etiquetado energético y la disposición final de equipos con vidas útiles largas y consumos de energía altamente ineficientes, facilitando además la transición hacia refrigerantes con menor impacto ambiental.

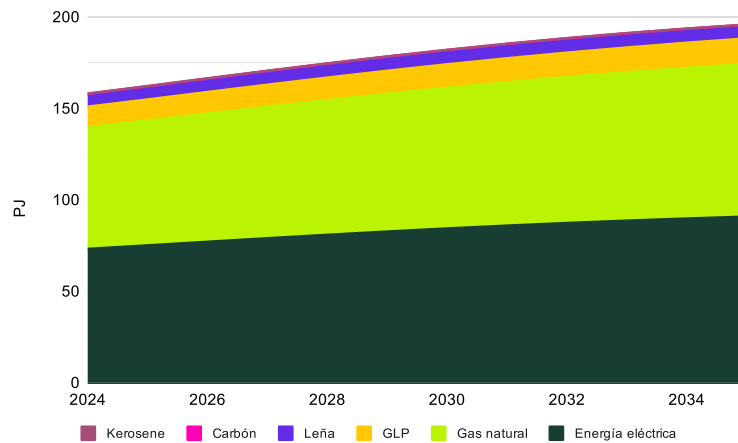
Complementario a esta modernización tecnológica, la implementación de infraestructura de medición avanzada (AMI) se perfila como el habilitador para la modernización del sector residencial, permitiendo la transición de un usuario pasivo a un prosumidor con capacidad de decisión a partir de señales de precios. Al proporcionar datos granulares sobre el comportamiento de los hogares, esta infraestructura no solo permite optimizar las decisiones de los usuarios, sino que facilita el diseño de programas de eficiencia energética especializados, según los perfiles de carga del sector. Esta infraestructura habilita mecanismos como la respuesta de la demanda, que permita que los usuarios residenciales contribuyan de manera más activa al cumplimiento de las metas de eficiencia y la descarbonización.

En Colombia, la Resolución 40072 de 2018, modificada por la Resolución MME 40483 de 2019, estableció una meta de implementación de medidores en el 75% de usuarios conectados al SIN. Esto representa al menos 12 millones de usuarios a 2030, de los cuales según cifras de Asocodis, a diciembre de 2024 se habían instalado cerca de 200.000. Esto evidencia la brecha frente a los objetivos trazados y el reto que supone la implementación de esta tecnología.

Otro de los retos en transformación sectorial, es el de profundizar la intervención del entorno físico de las viviendas bajo el enfoque de construcción sostenible, reconociendo que este proceso ya presenta avances en el país, entre los que se encuentran procesos de certificación, cambios en materia regulatoria con la expedición de la resolución de Ministerio de Vivienda No. 0194 de 2025. En este sentido, continúa siendo pertinente consolidar la incorporación de criterios de diseño bioclimático y estándares de desempeño energético en las nuevas edificaciones, así como acelerar la transformación progresiva de las edificaciones existentes. Estas modificaciones constructivas, centradas en el uso de materiales eficientes y el aprovechamiento de la iluminación y ventilación natural, habilitan cambios en el consumo final de los hogares, que se perpetúan a lo largo de su vida útil.

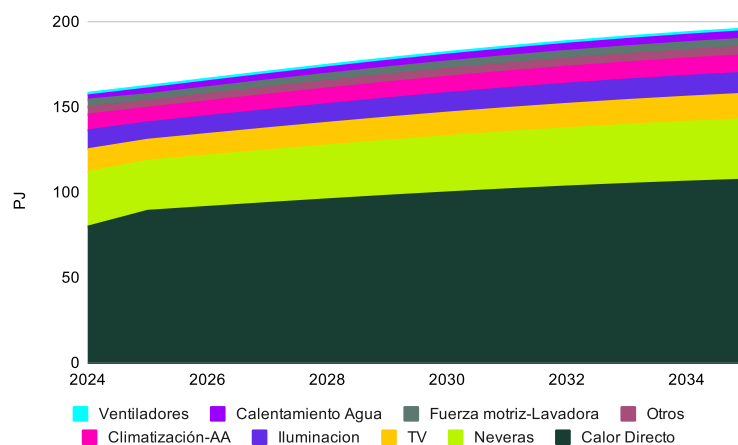
Finalmente, como estrategia de integración urbana, los distritos energéticos permiten transitar de sistemas individuales a sistemas colectivos de alta eficiencia. Estos sistemas permiten centralizar la climatización y la producción de agua caliente y fría, para múltiples usuarios, aprovechando economías de escala y la integración de FNCER, que de manera individual resultarían menos competitivas.

Para la estimación del consumo de energía del sector residencial urbano, se integraron diversas fuentes de información, incluyendo los escenarios del PEN 2024-2054 y las series históricas del BECO. Para la distribución en los usos de energía se considera la estructura del PAI PROURE 2022-2030, que está construida con base en el Balance de Energía Útil e incorporando estudios realizados por la UPME, entre ellos el Estudio de Actualización de Electrodomésticos, Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia (UPME-MITSIDI, 2025), que en conjunto permiten contar con una caracterización sectorial más reciente. Este enfoque metodológico permitió armonizar las proyecciones macro con los hallazgos más recientes sobre la evolución del parque electrodomésticos en los hogares colombianos.

Figura 16. Proyección línea base por energético sector Residencial - Urbano

Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025 y 2018, LEAP 2024.

De acuerdo con la proyección, se prevé un incremento promedio anual del 1,83% en el consumo total de energía para el periodo 2027-2035, logrando un consumo cercano a los 196 PJ para el año 2035. En este año, la mayor participación en el consumo energético está dado por energía eléctrica (46,4%), gas natural (42,6%), GLP (7,2%), seguidos por leña, kerosene y carbón, en proporciones marginales. El consumo de leña presenta muy poca variabilidad en el tiempo, en promedio se observa un consumo de 6,6 PJ (3,3% sobre el total de consumo del segmento urbano).

Figura 17. Proyección línea base por uso sector Residencial - Urbano

Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025 y 2018, LEAP 2024.

Al final del periodo de análisis, el consumo del sector residencial urbano está concentrado en usos de calor directo 54,7%, refrigeración 18,2%, entretenimiento 7,3%, iluminación 6,3% y climatización 5,3%, y en menor proporción con un 7,4% lo relacionado con fuerza motriz, calentamiento de agua y otros usos. Bajo ese contexto, el potencial de eficiencia energética se concentra en los usos de calor directo y refrigeración.

5.1.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector residencial urbano

Las medidas de eficiencia energética analizadas para el sector residencial urbano se articulan bajo una estrategia combinada de buenas prácticas operacionales, reconversión tecnológica de la refrigeración y climatización, y sustitución de combustibles en la cocción.

En relación con la cocción, el análisis contempla tanto la sustitución de estufas a gas natural y GLP por energía eléctrica (convencional o de inducción), como mejoras en la combustión de gasodomésticos existentes (sustitución de quemadores). Si bien el uso de la leña en el entorno urbano es marginal, su sustitución definitiva por GLP se identifica como una acción clave para eliminar las ineficiencias críticas remanentes en este segmento.

Por otro lado, la refrigeración se consolida como el segundo uso con mayor potencial de ahorro. Según datos de la UPME, el consumo promedio por hogar de las neveras es de 71,9 kWh-mes, mientras que el consumo promedio de un electrodoméstico eficiente con una prestación igual o superior es de 33.5 kWh-mes (UPME, 2019). En consecuencia, el recambio tecnológico focalizado en activos obsoletos representa una oportunidad estratégica para reducir la intensidad energética sectorial.

En esa línea, se contempla la reconversión tecnológica en acondicionamiento de aire (climatización), no sólo como respuesta a criterios de ahorro energético (Etiqueta A, RETIQ 2021), sino al cumplimiento normativo ambiental. La transición hacia refrigerantes de bajo impacto con propiedades térmicas superiores, en sinergia con tecnologías como la variación de velocidad inverter (que buscan factores de desempeño estacional - CSPF mucho mayores), resulta fundamental para optimizar los consumos por uso, especialmente en regiones de clima cálido.

De manera simultánea, la eficiencia tecnológica se complementa con estrategias de construcción sostenible, las cuales buscan optimizar la envolvente térmica y el diseño bioclimático de las viviendas nuevas para maximizar la ventilación e iluminación natural y

reducir los consumos de energía. Estas medidas son estructurales, ya que permiten que los equipos operen bajo menores cargas térmicas.

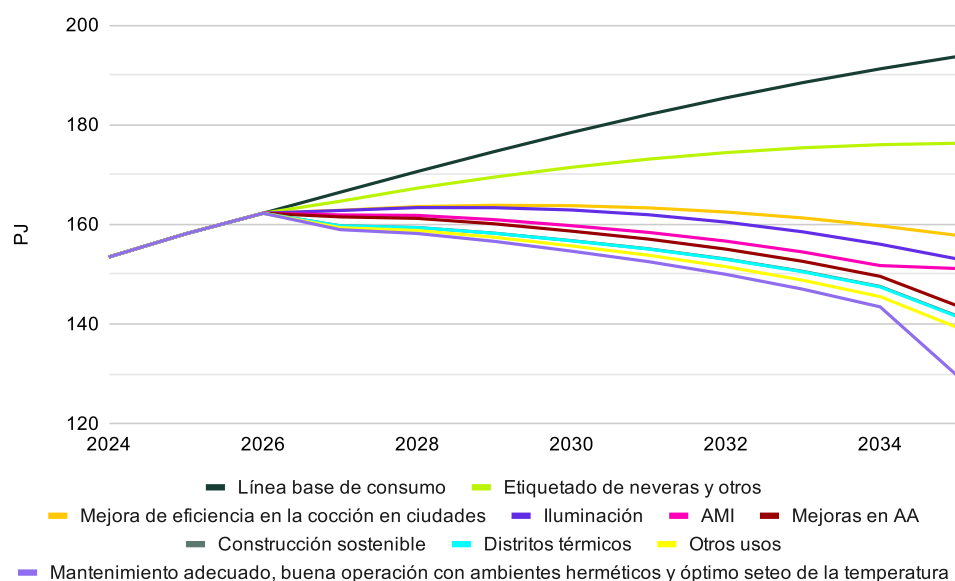
Finalmente, la transformación del sector se complementa con la optimización de la demanda a través de la adquisición de herramientas digitales, como los medidores inteligentes. Estos dispositivos permiten obtener información de consumo y precios en tiempo real, facilitando mecanismos de respuestas de consumo optimizadas, tanto para el usuario final como para el sistema.

**Tabla 4. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector
Residencial - Urbano**

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Optimización de la combustión, ajustes en las estufas de gas. (Hogares existentes)	77,27	27,6%	4,50
Renovación tecnológica - RT	Sustitución de neveras por etiqueta A o superior	73,64	26,3%	4,50
Renovación tecnológica - RT	Promoción del consumo inteligente Instalación de AMI	25,62	9,1%	1,57
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato en refrigeración	19,23	6,9%	1,18
Renovación tecnológica - RT	Actualización a equipo de climatización más eficiente de etiqueta tipo A	17,41	6,2%	1,06
Renovación tecnológica - RT	Construcción sostenible en el sector residencial	17,40	6,2%	1,06
Renovación tecnológica - RT	Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	16,24	5,8%	0,99
Sustitución de combustibles	Mejora de eficiencia en la cocción en ciudades	12,17	4,3%	0,23
Renovación tecnológica - RT	Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos.	11,32	4,0%	0,69

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos y óptimo seteo de la temperatura	9,29	3,3%	0,57
Renovación tecnológica - RT	Sistemas de generación de frío/calor por medio de distritos energéticos	0,49	0,2%	0,03

Fuente: UPME.

Figura 18. Proyección línea meta por uso sector Residencial - Urbano

Fuente: UPME.

Las medidas simuladas para el sector residencial arrojan un potencial de ahorro energético acumulado de 280,07 PJ en el periodo 2027-2035, que representa una reducción cercana al 17% respecto al escenario base.

La implementación de buenas prácticas operacionales asociadas a la optimización de la combustión de los hogares existentes representa la medida de mayor impacto en el sector, aportando cerca del 23% del ahorro total esperado. Esta estrategia prioriza el mantenimiento y la eficiencia de los gasodomésticos como paso crítico de transición hacia tecnologías más avanzadas. Complementariamente, la sustitución de estufas de gas natural y GLP por estufas

eléctricas de alto rendimiento aporta un 4% adicional, consolidando la eficiencia térmica como un pilar fundamental del Plan.

Por su parte, el recambio tecnológico en refrigeración cuenta con el segundo lugar en aporte al potencial de eficiencia energética del sector, con una participación de 22,3% sobre el ahorro total esperado. La sustitución de neveras ineficientes por equipos de etiqueta A o superiores alcanza un ahorro de 73,64 PJ al finalizar el 2035. Esta constituye una medida de alta prioridad dado que estos activos hacen parte de la carga base de consumo eléctrico del sector.

Como eje transversal, la integración de la construcción sostenible y la infraestructura de medición avanzada (AMI) proyectan un ahorro de 67,9 PJ. Esta cifra evidencia que la eficiencia urbana no depende exclusivamente de la eficiencia nominal de los equipos, sino de una optimización estructural del consumo de energía.

Los resultados indican que, a partir de las medidas propuestas en este PAI PROURE, existe un potencial de mitigar más de 17 millones de toneladas de CO₂eq en el sector residencial urbano. En conjunto, la optimización de la cocción y la renovación de la refrigeración lideran las metas de eficiencia, sumando entre ambas el 46,3% del potencial de mitigación en el periodo de análisis.

5.1.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector residencial urbano

Con base en la información de potenciales de medidas y una vez aplicada la metodología de análisis beneficio costo desde tres niveles: usuario, sistema y sociedad se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5. Análisis B/C sector Residencial - Urbano

Medida	B/C privado	B/C sistema	B/C social
BPO - Optimización de la combustión en hogares existentes	8,10	1,97	18,70
RT - Compra de neveras etiqueta A	2,78	5,24	11,03
BPO - Instalación de medidores inteligentes	1,47	4,00	2,92
BPO - Refrigeración-Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato	0,30	0,66	1,31
BPO - Climatización-Mantenimiento adecuado, buena operación con ambientes herméticos y óptimo seteo de la temperatura	0,44	1,25	2,20
BPO - Construcción sostenible en el sector residencial	0,23	3,35	2,07
RT - Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	0,27	3,64	2,51
SC - Sustitución de leña sector urbano	0,004	2,21	0,73

Medida	B/C privado	B/C sistema	B/C social
BPO - Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos	0,43	0,83	22,78
RT - Actualización a equipo de aire acondicionado más eficiente de etiqueta tipo A, Mini split	0,16	0,84	5,70
ST - Ventiladores de alta eficiencia	0,08	0,32	2,54

Fuente: UPME.

Desde el punto de vista privado, las medidas asociadas a la optimización de la combustión en hogares existentes ($B/C = 8,10$) y la sustitución de neveras por equipos con etiqueta A o superior ($B/C = 2,78$) muestran la mayor rentabilidad para los usuarios, lo que indica que los ahorros obtenidos durante la vida útil de los equipos superan ampliamente las inversiones requeridas. Asimismo, la instalación de medidores inteligentes presenta una relación beneficio-costos favorable ($B/C = 1,47$), reflejando que el acceso a información detallada sobre el consumo puede traducirse en reducciones efectivas de la demanda energética.

Desde la perspectiva del sistema energético, la renovación de neveras eficientes constituye la medida de mayor conveniencia ($B/C = 5,24$), seguida por la instalación de medidores inteligentes ($B/C = 4,00$) y las estrategias de control y modernización de la iluminación (B/C superiores a 3,64). Estos resultados reflejan que la reducción de la demanda eléctrica contribuye a disminuir costos de expansión, generación y operación del sistema, generando beneficios que exceden ampliamente los costos de implementación.

Por su parte, desde la perspectiva de la sociedad, la implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos presenta la relación beneficio-costos más alta ($B/C = 22,78$), seguida de la optimización de la combustión en estufas a gas presenta la relación beneficio-costos más alta ($B/C = 18,70$), la sustitución de neveras eficientes ($B/C = 11,03$) y la actualización de equipos de aire acondicionado ($B/C = 5,70$). Estos resultados evidencian que los beneficios ambientales, energéticos y económicos agregados para la sociedad son significativamente superiores a los costos asociados, particularmente cuando se consideran las reducciones de emisiones, los efectos sobre la calidad del aire y sus efectos en salud.

En contraste, medidas como el mantenimiento de equipos de refrigeración y la iluminación eficiente y automatización presentan relaciones beneficio-costos inferiores a uno desde la perspectiva privada, aunque mantienen resultados positivos para el sistema energético y la sociedad. Esto sugiere la existencia de barreras económicas, de información o de acceso a financiamiento que limitan su adopción voluntaria, a pesar de los beneficios colectivos que generan.

En términos generales, los resultados indican que las mayores oportunidades de eficiencia energética en el sector residencial urbano se concentran en la renovación tecnológica de equipos de refrigeración, la optimización de los procesos de cocción y la digitalización del consumo mediante infraestructura de medición avanzada. Estas medidas, pese a los resultados que aportan en términos económicos, aún presentan retos de implementación que deben ser superados garantizando la concreción de los beneficios.

5.1.4 Conclusiones y recomendaciones sector residencial urbano

- Para el sector residencial urbano es necesario mantener el desarrollo de programas masivos de recambio de neveras eficientes, considerando que esta medida combina elevados beneficios privados, sistémicos y para la sociedad y representa uno de los mayores potenciales de ahorro energético del sector, complementado con el recambio y promoción de equipos de acondicionamiento de aire con etiquetado energético clase A. Los esquemas de etiquetado son una herramienta clave, que puede incorporar de manera constante y oportuna la captura de la evolución tecnológica más costo beneficioso.
- Se considera clave generar programas de mantenimiento y optimización de gasodomésticos, especialmente mediante esquemas de revisión periódica y sustitución de quemadores, dado su impacto en ahorro energético y reducción de emisiones. En específico se recomienda el diseño de programas de implementación de esta medida, que contemplen la calibración periódica de estufas a gas cada dos años, considerando la variación de densidad atmosférica según la altitud de cada ciudad. Este es un camino novedoso y en el que es clave la participación de actores del sector como distribuidores y comercializadores, y de sectores como la construcción. Incluso, se sugiere considerar el diseño de programas bianuales obligatorios para la calibración de las estufas o el ajuste de su combustión.
- Sigue siendo necesario acelerar la implementación de infraestructura AMI, complementándola con esquemas tarifarios y programas de respuesta de la demanda que permitan aprovechar plenamente los beneficios de estas medidas. Fortalecer a los usuarios como actores informados y tomadores de decisiones en materia energética, requiere la concreción de señales regulatorias.

- Aprovechar el éxito del diseño de mecanismos de financiación e instrumentos de política para tecnologías eficientes de iluminación (restricciones normativas) y refrigeración (esquema de etiquetado/reducción de 14 puntos de IVA), con el fin de superar las barreras económicas que limitan su adopción por parte de los hogares.
- Dentro de las ganancias tempranas, se encuentran los avances en la instalación de luminarias LED, frente a esto hay que mantener las señales comerciales y reglamentarias que garantizan la disponibilidad de la tecnología de mayor eficiencia disponible comercialmente. Mantener la evolución constante en iluminación eficiente mediante luminarias LED, garantiza beneficios en las tres perspectivas analizadas. Para este uso, el nuevo reto es la adopción de temas de digitalización y automatización que, en complemento con buenas prácticas de uso, permitan capturar el mayor ahorro posible dado el recambio tecnológico alcanzado.
- Diseñar con apoyo de distribuidores, comercializadores de energía y/o, constructores esquemas de financiamiento para la adecuación, normalización de las acometidas internas y otras necesidades de ajustes en infraestructura para garantizar las condiciones eléctricas de las edificaciones de cara a los crecientes procesos de electrificación, priorizando edificaciones de estratos 1, 2 y 3.
- Para el sector residencial urbano sigue siendo pertinente el diseño de programas masivos, liderados desde el sector privado por comercializadoras, distribuidores y constructores y desde las entidades del sector, de tal manera que se logren despliegues masivos en electrodomésticos de alta eficiencia y buenas prácticas de operación.
- Integrar los programas de etiquetado energético con estrategias de disposición final y economía circular, garantizando el retiro efectivo de equipos obsoletos y evitando la permanencia de tecnologías ineficientes en el mercado secundario.
- Promover la construcción sostenible, los distritos energéticos y el diseño bioclimático en nuevos desarrollos inmobiliarios, incorporando criterios mínimos de desempeño energético que reduzcan de forma estructural los consumos futuros.

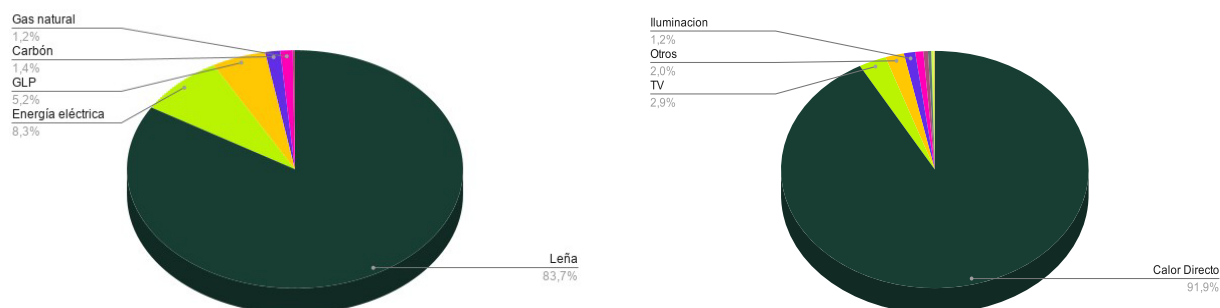
- Seguir con el despliegue de programas de certificación, sellos verdes constructivos y estrategias de valor comercial, que fomenten en el criterio de compra elementos de construcción sostenible.

5.2 Sector Residencial Rural

5.2.1 Línea base de consumo energético sector residencial rural

En el año base (2024), en el sector residencial rural predomina el consumo de leña con 104,3 PJ (82%), energía eléctrica con 10,0 PJ (8%) y GLP con 8,7 PJ (5%) (ver **Figura 19**). Estos consumos están destinados principalmente a calor directo (cocción) 90,3 PJ, entretenimiento 2,8 PJ, iluminación 1,9 PJ y refrigeración con un consumo de 1,76 PJ. Usos como el calentamiento de agua y fuerza motriz, cuentan cada uno con consumos inferiores a 1 PJ.

Figura 19. Balance de consumo sector Residencial - Rural



Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025.

Entre el periodo 2019 a 2024, el consumo de energía en el sector residencial rural muestra una tendencia de decrecimiento sostenida, pasando de un total de 104,4 PJ a 98,7 PJ, lo que representa una disminución total de 5,5%. La leña, el energético de mayor consumo en el periodo, es utilizado exclusivamente para la cocción, uso en el que el GLP tiene el segundo consumo más importante (7,84%). Para esta categoría se evidencian pequeños consumos de energía eléctrica de la red y gas natural (0,6% y 0,5%, respectivamente).

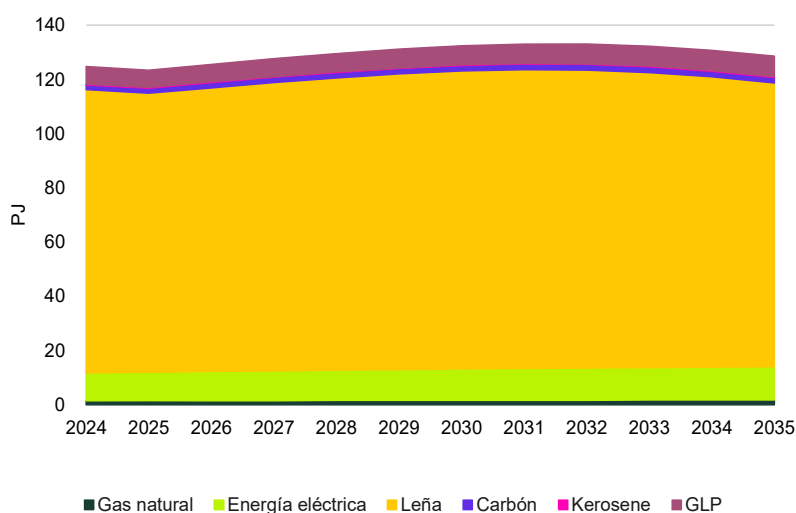
La energía eléctrica en este sector es utilizada principalmente en entretenimiento (televisión) (33,7%), iluminación (23,9%) y refrigeración (21,6%). El calentamiento de agua se da 100% a partir de este recurso. Al igual que en el sector residencial urbano, en el ámbito rural también

se observa un cambio en la sustitución de televisores convencionales por tecnologías LED de mayor eficiencia.

La transformación del sector residencial rural gira en torno a la transición de combustibles tradicionales hacia fuentes de energía de mayor eficiencia térmica, buscando revertir la dependencia histórica de la biomasa. Este cambio, alineado con la visión del Plan de Sustitución de Leña (PNSL), promueve el reemplazo de fogones tradicionales por estufas de GLP, gas natural, electricidad, biogás y biometano. El objetivo central es optimizar el perfil de demanda rural y mitigar las externalidades negativas en salud pública y medio ambiente derivadas de las emisiones de material particulado, consolidando una matriz energética más limpia y eficiente.

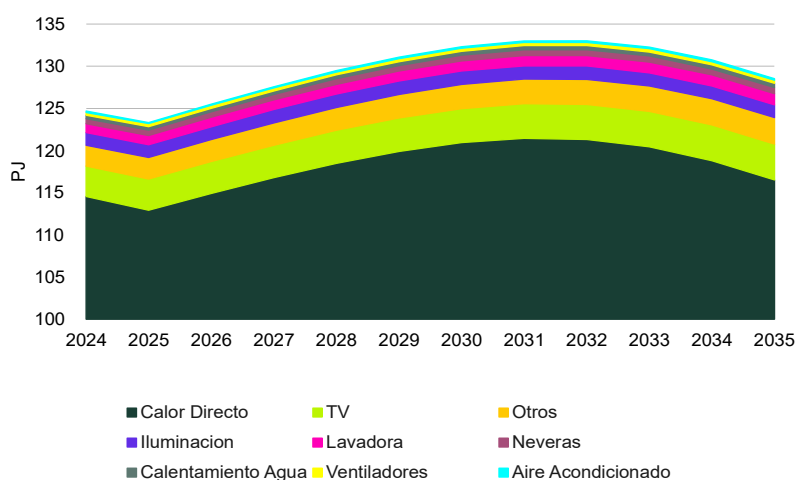
En este proceso, las comunidades energéticas, definidas mediante el Artículo 235 de la ley del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 y parcialmente reglamentadas por el Decreto 2236 de 2023, juegan un rol importante. Estas figuras impulsan el uso de tecnologías eléctricas, mediante la implementación colectiva de FNCER, convirtiendo la gestión energética en elemento dinamizador de los cambios en los hábitos de consumo de los hogares rurales. A su vez este modelo favorece la modernización de tecnologías de refrigeración y cocción, usos de la energía que hoy tienen un rezago tecnológico mayor frente al ámbito urbano, en beneficio del diseño e implementación optimizada de los sistemas de autogeneración.

Al igual que en el sector residencial urbano, para la estimación del consumo de energía del sector rural, se integraron diversas fuentes de información, incluyendo los escenarios del PEN 2024-2054 y las series históricas del BECO. Con el fin de robustecer la precisión en la distribución por usos finales del sector, se optó por adoptar la estructura del PAI PROURE vigente, en conjunto con el BEU, y estudios recientes elaborados por la entidad. Este enfoque metodológico permitió armonizar las proyecciones macro con los hallazgos más recientes sobre la evolución del parque electrodomésticos en los hogares colombianos.

Figura 20. Proyección línea base por energético sector Residencial - Rural

Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025 y 2018, LEAP 2024.

De acuerdo con esta proyección se prevé una variación interanual de 0,08% en el consumo total de energía para el periodo 2027-2035, logrando un consumo cercano a los 129 PJ para el año 2035. En este año, la mayor participación en el consumo energético está dado por leña (81,3%), energía eléctrica (9,5%) y GLP (5,9%), seguidos por carbón, gas natural y kerosene. El consumo de leña, incluso en el escenario base, presenta una tasa de variación que va disminuyendo en el tiempo, y se vuelve negativa a partir de 2033, lo que responde en gran medida a los esfuerzos de sustitución de este energético.

Figura 21. Proyección línea base por uso sector Residencial - Rural

Fuente: PAI PROURE 2022-2030, BECO 2025 y 2018, LEAP 2024.

El consumo del sector residencial rural está concentrado en el uso de calor directo 90,7%, entretenimiento 3,3% y refrigeración 2,4%. En menor proporción, con un 3,6% lo relacionado con iluminación, fuerza motriz, climatización, calentamiento de agua y otros usos. Lo anterior confirma que es en las eficiencias de las tecnologías de cocción y en la sustitución de los energéticos en donde reside el mayor potencial para reducir la intensidad energética de este sector.

5.2.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector residencial rural

La priorización de medidas de eficiencia energética en el sector residencial rural identifica la sustitución de leña para cocción como la medida de mayor impacto, al concentrar cerca del 93% del potencial de ahorro. Esto responde a la alta dependencia de este energético en zonas rurales, donde se concentra aproximadamente el 92% de los hogares que, a nivel nacional, aún utilizan leña u otros combustibles ineficientes para cocinar.

De acuerdo con cifras del BEU (UPME, 2024) y el estudio UPME (2019), la eficiencia de las estufas de leña se encuentra en un rango del 3 % al 4,4%. Por su parte, el PNSL 2023 establece que las alternativas energéticas viables para la sustitución de combustibles de uso ineficiente y altamente contaminantes (CIAC) en Colombia son el gas natural, el gas licuado de petróleo, la energía eléctrica y el biogás o biometano. De acuerdo con los análisis de viabilidad técnica efectuados en este plan, para 1,38 millones de hogares que no cuentan con combustible alternativo a los CIAC, las redes de Gas Natural y de GLP representan una alternativa proyectada para el 32,9% de los hogares, el GLP en cilindros para el 37,9%, la Energía Eléctrica para el 19,3% y el Biogás para el 9,8% (UPME, 2023).

De manera complementaria, las medidas de reconversión tecnológica, como la medición avanzada, la automatización de consumos y la incorporación de equipos eficientes, permiten mejorar la gestión de la demanda y generar ahorros adicionales. A su vez, las buenas prácticas operacionales representan acciones de rápida implementación que contribuyen a optimizar el uso de la energía a nivel de usuario.

Si bien estas medidas han sido identificadas previamente, su implementación efectiva requiere un enfoque integral que combine la sustitución de energéticos como la leña por alternativas más limpias, la implementación de soluciones energéticas locales y el acompañamiento a los usuarios para asegurar el uso adecuado y sostenido de las tecnologías, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de los hogares.

Tabla 6. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector Residencial - Rural

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de leña cocción	321,07	86,79%	-
Renovación tecnológica - RT	Instalación de infraestructura AML	33,46	9,04%	2,04
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Optimización de la combustión, ajustes en las estufas de gas. (Hogares existentes)	5,51	1,49%	0,36
Renovación tecnológica - RT	Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos.	4,09	1,11%	0,25
Renovación tecnológica - RT	Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	2,03	0,55%	0,12
Renovación tecnológica - RT	Sustitución de equipos por eficiencia A o superior	1,80	0,49%	0,11
Renovación tecnológica - RT	Construcción sostenible en el sector residencial	0,90	0,24%	0,06
Renovación tecnológica - RT	Ventiladores de alta eficiencia y actualización a equipo de climatización más eficiente de etiqueta tipo A	0,39	0,11%	0,02
Sustitución de combustibles - SC	Mejoras en la cocción rural en hogares con gas combustible	0,34	0,09%	0,02
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato	0,34	0,09%	0,02

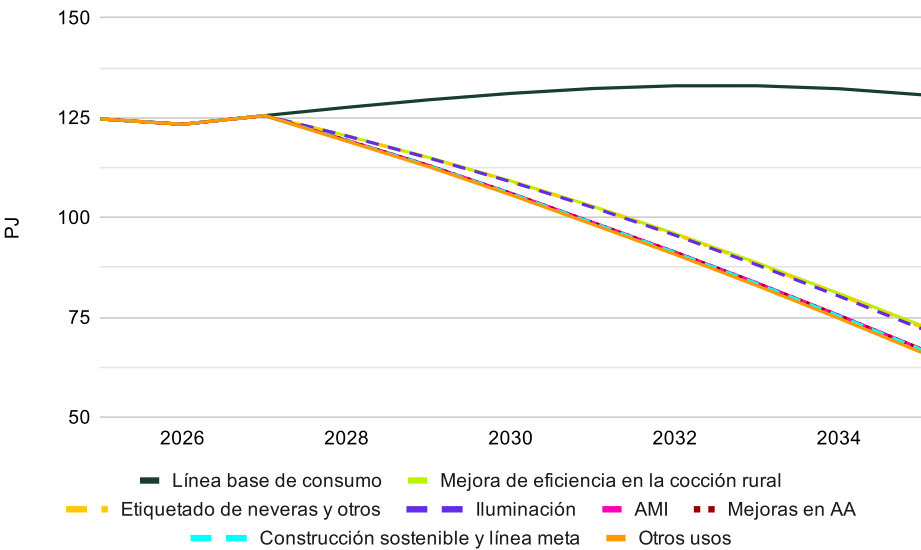
Fuente: UPME.

La implementación de las medidas de eficiencia energética en el sector residencial rural permite una reducción significativa en la demanda de energía frente a la línea base

proyectada. Mientras que el consumo tendencial es de alrededor de 128,53 PJ hacia 2035, la incorporación de las medidas priorizadas reduce la demanda hasta valores cercanos a 60 PJ, lo que representa una disminución aproximada del 50%.

En este resultado, la sustitución de leña para cocción explica la mayor parte de la reducción y representa un componente relevante por sus efectos asociados, en contraste su aporte en reducción de emisiones es bajo, dado que el consumo de leña se considera carbono-neutral, por lo que se incorporan otro tipo de co- beneficios económicos y sociales. Este efecto se complementa con medidas como la reconversión tecnológica, el etiquetado de equipos, iluminación eficiente y la adopción de buenas prácticas, que en conjunto fortalecen los resultados esperados.

Figura 22. Proyección línea meta por uso sector Residencial - Rural



Fuente: UPME.

Tabla 7. Resumen de resultados sector Residencial-Rural

Energéticas	●	369,93 PJ
Ambientales	●	3 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

5.2.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector residencial rural

Los resultados para el sector residencial rural muestran una dinámica diferente a la observada en el ámbito urbano, debido a la alta participación de la leña en la matriz energética y a las condiciones socioeconómicas de los hogares rurales.

Tabla 8. Análisis B/C sector Residencial – Rural

Medida	B/C privado	B/C sistema	B/C social
SC - Sustitución de leña sector rural	0,02	2,21	1,77
RT - Instalación de medidores inteligentes	1,85	3,77	3,94
BPO - Optimización de la combustión en hogares existentes	24,48	6,40	119,38
RT - Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos	0,44	0,30	42,02
RT - Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	2,09	3,72	1,19
RT - Compra de neveras etiqueta A	0,45	0,13	1,59
RT - Construcción sostenible en el sector residencial	0,17	3,41	1,33
RT - Actualización a equipo de aire acondicionado más eficiente de etiqueta tipo A	0,06	0,02	5,29
RT - Ventiladores de alta eficiencia	0,03	0,01	0,15
BPO - Mantenimiento adecuado, buena hermeticidad y ajuste óptimo del termostato	0,09	0,01	3,78

Fuente: UPME.

Desde la perspectiva privada, la optimización de la combustión en hogares existentes presenta una relación beneficio-costos excepcionalmente alta ($B/C = 24,48$), convirtiéndose en la medida más atractiva para los usuarios rurales, estos resultados corresponden a resultados preliminares. También destacan las luminarias LED ($B/C = 3,79$), la dimerización y control de iluminación ($B/C = 2,09$) y la instalación de medidores inteligentes ($B/C = 1,85$), las cuales generan beneficios económicos directos derivados de la reducción del consumo energético.

Desde la perspectiva del sistema energético, las medidas con mejor desempeño corresponden nuevamente a la optimización de la combustión ($B/C = 6,40$), la instalación de medidores inteligentes ($B/C = 3,77$), la dimerización y control de iluminación ($B/C = 3,72$) y las luminarias LED ($B/C = 3,70$). Estos resultados reflejan el aporte de estas medidas a la reducción de la demanda, la mejora de la gestión energética y la disminución de costos asociados a la prestación del servicio.

Desde la perspectiva de la sociedad, sobresalen la optimización de la combustión ($B/C = 119,38$), las luminarias LED ($B/C = 36,33$), la actualización de equipos de climatización eficientes ($B/C = 5,29$) y la instalación de medidores inteligentes ($B/C = 3,94$). La elevada rentabilidad social de estas medidas refleja los beneficios asociados a la reducción de emisiones, la mejora en la calidad del aire intradomiciliario, la disminución de riesgos para la salud y el fortalecimiento de las condiciones de bienestar de la población rural.

Un resultado particularmente relevante corresponde a la sustitución de leña para cocción. Aunque esta medida presenta una baja rentabilidad privada ($B/C = 0,02$), registra relaciones beneficio-costos positivas desde la perspectiva del sistema energético ($B/C = 2,21$) y de la sociedad ($B/C = 1,77$). Esto evidencia que los beneficios asociados a la reducción de emisiones, la disminución de enfermedades respiratorias y la mejora de la calidad de vida no son capturados directamente por los hogares, lo que justifica la intervención pública mediante subsidios, incentivos o programas específicos de sustitución energética.

En conjunto, los resultados muestran que la eficiencia energética rural debe abordarse bajo un enfoque integral que combine sustitución de combustibles, modernización tecnológica y fortalecimiento de capacidades de los usuarios para maximizar los beneficios energéticos, ambientales y sociales.

5.2.4 Conclusiones y recomendaciones sector residencial rural

- Sigue siendo oportuno y prioritario concentrar los esfuerzos de política pública en la sustitución de leña para cocción, dado que esta medida representa más del 90 % del potencial de ahorro energético identificado para el sector y genera importantes beneficios sociales y ambientales.
- Se mantiene la necesidad de diseñar esquemas integrales que garanticen la transición hacia cocción con energéticos de mayor eficiencia (electricidad, GLP, gas natural, biogás y biometano), las soluciones en esto ameritan la coordinación interinstitucional con sectores de salud y vivienda, en donde los objetivos de la política energética pueden ser un habilitador de beneficios mayores en temas de salud. En este sentido, es clave incorporar los beneficios en salud pública dentro de los criterios de priorización de proyectos, especialmente aquellos asociados a la reducción de la exposición al humo intradomiciliario derivado del uso de leña.

- En el tema de energización rural se considera clave una articulación con la política de biogás y biometano derivada de la Ley 1715 de 2014 y sus reglamentaciones. Así como, en general, de los programas de energización rural liderados por las diferentes entidades nacionales y las entidades territoriales, para resolver las barreras logísticas identificadas.
- Frente a los nuevos programas de energización, con generación distribuida, autogeneración con FNCER, se deben articular de manera oportuna las necesidades de transformación de los procesos de cocción e incluso otras medidas de renovación tecnológica y buenas prácticas de operación (desde el diseño), de tal manera que las estrategias de sustitución de leña y uso eficiente de energía estén alineadas con el desarrollo y energización de las comunidades energéticas rurales.
- Como en el caso del sector residencial urbano, los avances en la instalación de luminarias LED se considera una ganancia; frente a esto hay que mantener las señales comerciales y reglamentarias que garantizan la disponibilidad de la tecnología de mayor eficiencia disponible comercialmente. Mantener la evolución constante en iluminación eficiente mediante luminarias LED, garantiza beneficios en las tres perspectivas analizadas. También, fortalecer la adopción de temas de digitalización y automatización que, en complemento con buenas prácticas de uso, permitan capturar el mayor ahorro posible dado el recambio tecnológico alcanzado.
- Cumplir las metas en materia de instalación de infraestructura de medición y con ello todo es esquema de respuesta de la demanda, es pertinente incluso en la ruralidad, la instalación de medidores inteligentes en un habilitador clave en zonas rurales, capturando los beneficios de la eficiencia como paso conjunto al acceso a la energía.
- Como en el caso del sector residencial - urbano, sigue siendo pertinente el diseño de programas masivos, liderados desde el sector privado por comercializadoras, distribuidores y constructores y desde las entidades del sector, con la articulación de Ministerio de Vivienda, de tal manera que se logren despliegues masivos en electrodomésticos de alta eficiencia y buenas prácticas de operación.
- Complementar el desarrollo de proyectos con programas de capacitación, educación, sensibilización y apropiación social, orientados a garantizar el acceso y el uso adecuado, sostenido de las nuevas tecnologías energéticas.

- Integrar los programas de etiquetado energético con estrategias de disposición final y economía circular, garantizando el retiro efectivo de equipos obsoletos y evitando la permanencia de tecnologías ineficientes en el mercado secundario.

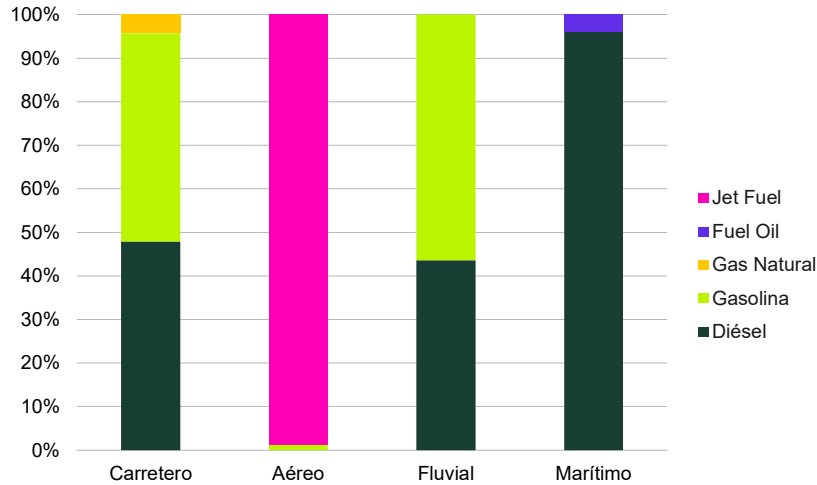
6 ANÁLISIS SECTOR TRANSPORTE

6.1 Línea base de consumo energético sector transporte

De acuerdo con el Balance Energético Colombiano (UPME, 2025), publicado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), y como se presenta en la **Figura 23**, para el año 2024 el consumo total de energía en el sector transporte en Colombia (incluyendo los modos carretero, aéreo, fluvial, marítimo y férreo) fue de 579,12 PJ. De este total, 255,40 PJ (44,1%) corresponden al consumo de diésel, 250,69 PJ (43,3%) al consumo de gasolina motor, 50,74 PJ (8,8%) al consumo de jet fuel, 22,08 PJ (3,8%) al consumo de gas natural, y 0,21 PJ (0,04%) al consumo de fuel oil.

En términos de participación por modo de transporte, el modo carretero concentró 521,65 PJ, equivalentes al 90,1% del consumo energético del sector transporte. Le siguió el transporte aéreo con 51,35 PJ (8,9%), asociado principalmente al consumo de jet fuel. Por su parte, el transporte marítimo registró 5,53 PJ (1,0%), principalmente por consumo de diésel (5,32 PJ) y fuel oil (0,21 PJ), mientras que el transporte fluvial presentó un consumo energético significativamente menor, con 0,59 PJ (0,1%), distribuido entre diésel (0,26 PJ) y gasolina (0,33 PJ), (UPME, 2025).

Aunque el Balance Energético Colombiano para el año 2024 no registró consumo energético de combustibles líquidos en el modo ferroviario, la Contribución Nacionalmente Determinada de Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025), estima que el consumo por transporte férreo en 2024 fue de 1,16 PJ. Estos resultados evidencian que, al 2024, el transporte en Colombia sigue dependiendo casi exclusivamente de combustibles fósiles líquidos.

Figura 23. Balance de consumo sector transporte por modo y energético [PJ]

Fuente: UPME 2025.

En 2024, el consumo energético del sector transporte en el modo carretero por medio (uso significativo), en el caso del diésel, se concentra principalmente en los segmentos de transporte de carga pesada y transporte de pasajeros. En particular, los tractocamiones y volquetas representaron el 39,53% del consumo de diésel (~97,98 PJ), seguidos por camiones con 26,09% (~64,66 PJ) y buses y busetas con 25,40% (~62,95 PJ). En contraste, en el segmento de vehículo livianos se presentaron participaciones significativamente menores, en camionetas (~11,05 PJ; 4,46%), automóviles y camperos (~7,73 PJ; 3,12%), mientras que el uso de diésel en microbuses (~3,10 PJ; 1,25%) y taxis (~0,40 PJ; 0,16%) resultó marginal. Este patrón confirma la fuerte dependencia del diésel en el transporte de carga y en parte del transporte público urbano e interurbano.

Por su parte, el consumo energético asociado a gasolina se concentra principalmente en el segmento de motocicletas que constituyen el principal consumidor con ~75,61 PJ, equivalentes al 29,99% del consumo total de gasolina, seguidas por camionetas (~64,35 PJ; 25,52%), automóviles y camperos (~47,87 PJ; 18,98%) y taxis (~41,34 PJ; 16,40%). En conjunto, estos cuatro segmentos explicaron más del 90% del consumo de gasolina en el transporte carretero en 2024. Otros segmentos presentaron participaciones mucho menores, como camiones (~11,91 PJ; 4,72%), buses y busetas (~9,21 PJ; 3,65%) y microbuses (~1,58 PJ; 0,63%), mientras que el uso en tractocamiones y volquetas fue marginal (~0,28 PJ; 0,11%). Esta distribución refleja el papel predominante de la gasolina en la movilidad particular y en el transporte urbano.

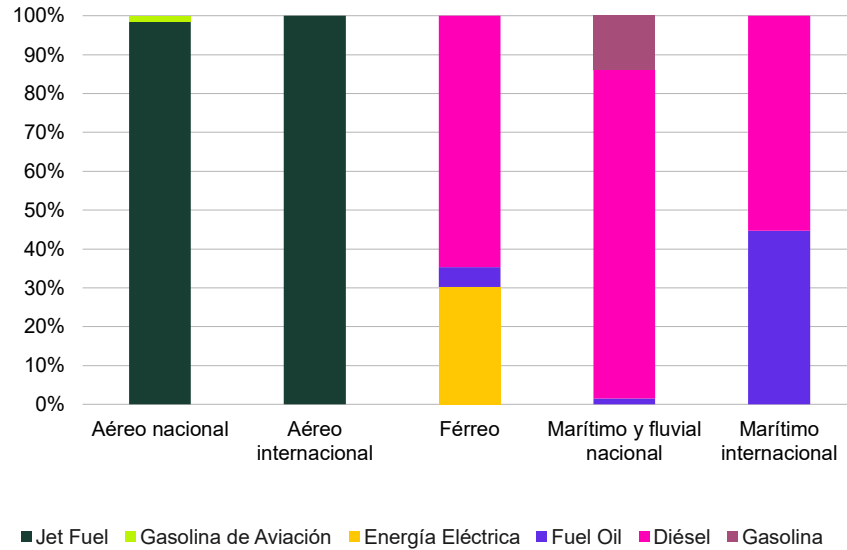
En cuanto al Gas Natural Vehicular (GNV), el consumo se concentra en el segmento de buses y busetas con una participación del 52,49% del consumo (~11,68 PJ), seguidos por camiones (~3,33 PJ; 14,95%) y automóviles y camperos (~3,31 PJ; 14,87%). Participaciones menores se observaron en camionetas (~1,53 PJ; 6,88%), taxis (~1,42 PJ; 6,37 %), tractocamiones y volquetas (~0,79 PJ; 3,56%) y microbuses (~0,20 PJ; 0,90%). Este patrón confirma el rol del GNV como combustible de transición, particularmente en flotas de transporte público urbano.

En contraste, los energéticos de bajas y cero emisiones continúan teniendo una participación energética muy reducida. El consumo de electricidad alcanzó aproximadamente 0,75 PJ, con una alta concentración en buses y busetas (~0,46 PJ; 60,34%), seguidos por camionetas (~0,13 PJ; 17,08%) y automóviles y camperos (~0,089 PJ; 11,80%). Otros segmentos presentaron participaciones menores, como camiones (~0,045 PJ; 5,99%), motocicletas (~0,029 PJ; 3,84%) y taxis (~0,004 PJ; 0,55%), mientras que el consumo en tractocamiones y volquetas fue prácticamente nulo (~0,003 PJ; 0,38%).

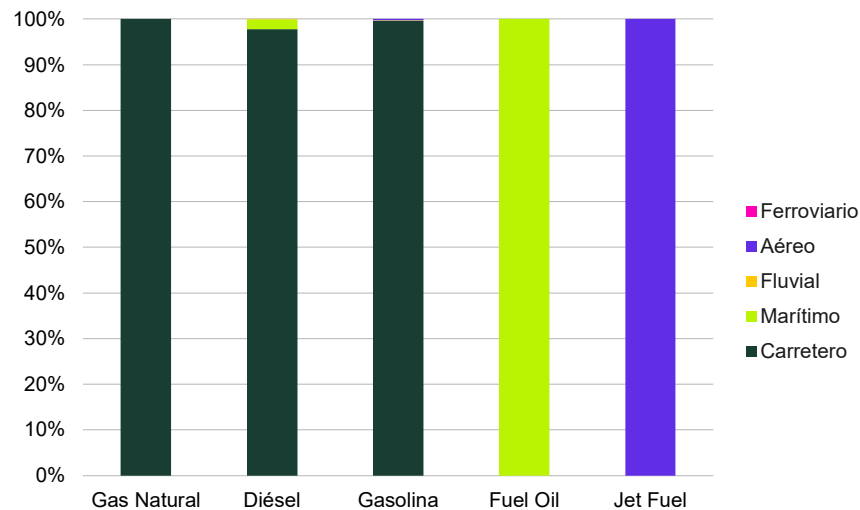
Finalmente, el uso de GLP e hidrógeno se mantiene marginal y estadísticamente poco significativo en términos energéticos. El GLP registró apenas ~0,003 PJ, concentrado principalmente en camiones (75,87%) y camionetas (24,13%), mientras que el hidrógeno mostró un consumo prácticamente nulo (~0,000016 PJ), asociado exclusivamente al segmento de automóviles en fases iniciales de demostración tecnológica.

De acuerdo con la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC 3.0) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025), en 2024, el consumo energético de otros modos de transporte (aéreo, férreo, marítimo y fluvial) fue de 66,73 PJ, donde la aviación nacional representó 80,6% (55,26 PJ); la aviación internacional representó 7,6% (4,99 PJ); la navegación marítima y fluvial nacional representó el 6% (3,95 PJ); la navegación internacional representó 4% (2,61 PJ) y el transporte férreo representó 1,7% (1,14 PJ).

En la **Figura 24**, se presenta el balance de consumo de otros modos de transporte por tipo de energético en el 2024, donde se resalta que el Jet Kerosene o Jet Fuel es el principal combustible de aviación y el diésel es uno de los principales combustibles de la navegación, junto con el fuel oil. En el transporte férreo el diésel y la electricidad son los combustibles más representativos.

Figura 24. Balance de consumo en otros modos de transporte por energético [PJ]

Fuente: UPME 2025.

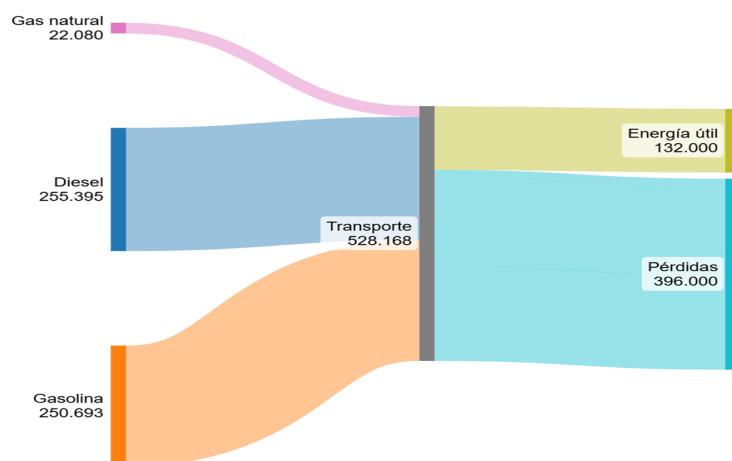


Fuente: UPME 2025.

Al 2024, analizando la eficiencia del uso de la energía, en la **Figura 25**, se observa que únicamente ~132 PJ se convierten en energía útil, mientras que ~396 PJ se disipan en forma de pérdidas asociadas principalmente a ineficiencias termodinámicas, fricción, calor residual y otros procesos propios de los sistemas de combustión interna. En términos porcentuales, la energía útil representa alrededor del 25,0% del total consumido, mientras que las pérdidas alcanzan aproximadamente el 75,0%. Estos resultados evidencian una baja eficiencia global

del sector, donde tres cuartas partes de la energía primaria se pierden durante los procesos de conversión y uso final, resaltando el potencial de mejora mediante la incorporación de tecnologías más eficientes y procesos de electrificación.

Figura 25. Balance de consumo sector transporte (2024), [TJ]



Made at SankeyMATIC.com

Fuente: UPME 2025.

En términos de evolución en el tiempo, entre 2019 y 2024, de acuerdo con la **Figura 26**, se ha identificado una marcada estabilidad en la estructura energética del sector transporte en el modo carretero, con el diésel y la gasolina concentrando de forma conjunta entre el 95% y el 96% del consumo total a lo largo de todo el período. En 2019, la gasolina representa aproximadamente el 48,9% del consumo energético, participación que aumentó de manera sostenida hasta alcanzar un máximo cercano al 50,7% en 2022, año en el que su consumo superó los 277 PJ. Posteriormente, su peso relativo se redujo ligeramente, descendiendo al 49,4% en 2023 y al 47,5% en 2024, pese a mantenerse en niveles absolutos elevados (UPME, 2025).

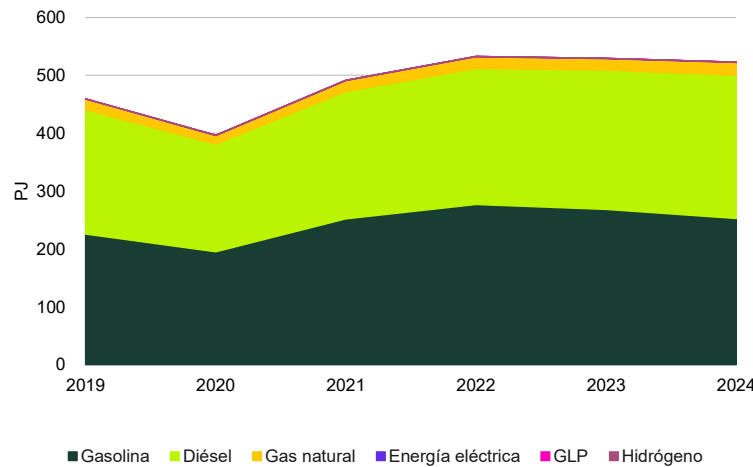
El diésel, por su parte, pasó de representar alrededor del 47,0% del consumo total en 2019, a registrar una caída significativa en 2020, cuando su participación se redujo a cerca del 46,9% en un contexto de contracción de la actividad económica y la movilidad por efecto de la pandemia del COVID19. A partir de 2021, el consumo de diésel retomó una trayectoria de crecimiento sostenido, alcanzando en 2024 un consumo cercano a 255 PJ, equivalente a aproximadamente el 48,4% del total, consolidando su rol estructural en el sector (UPME, 2025).

El gas natural mostró una participación considerablemente menor y relativamente estable, pasando de alrededor del 4,0% en 2019 a un mínimo cercano al 3,9% en 2020, seguido de

una recuperación gradual hasta situarse nuevamente en torno al 4,2% en 2024, sin evidenciar cambios estructurales relevantes en su peso relativo.

Finalmente, el consumo de electricidad presentó el mayor crecimiento relativo del período, aumentando desde 0,064 PJ en 2019 hasta 0,72 PJ en 2024, lo que implica un incremento superior a un 1.000%, relacionado con el crecimiento de flota de vehículos eléctricos en diferentes segmentos. Sin embargo, debido a su baja base inicial, su participación en el consumo total sigue siendo marginal, manteniéndose por debajo del 0,2% en todo el período analizado (UPME, 2025).

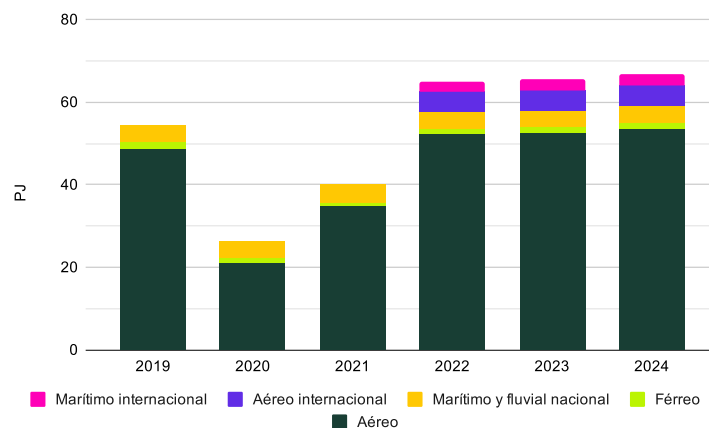
Figura 26. Evolución del consumo energético del sector transporte modo carretero



Fuente: UPME 2025.

Para el caso de otros modos de transporte, como el aéreo, férreo, marítimo y fluvial, de 2019 a 2024 se observa una caída en los años 2020 y 2021 en comparación con el 2019 por motivo de la pandemia del COVID19 y un crecimiento moderado en los años 2022 a 2024 por debajo de 2%, tal como se muestra en la **Figura 27**.

Figura 27. Evolución del consumo energético del sector transporte en otros modos: aéreo, férreo, marítimo y fluvial



Fuente: UPME 2025.

En 2024, el consumo energético del modo carretero se mantuvo fuertemente concentrado en tecnologías convencionales, con una clara predominancia de tecnologías de combustión a gasolina y diésel, que en conjunto representaron el 94,5% del consumo energético total del modo carretero. El consumo de tecnologías de combustión a gasolina en este modo explicó el 47,2% del total, impulsada principalmente por motocicletas (~75,6 PJ; 30,6% del consumo de tecnologías de combustión a gasolina y 14,5% del total), camionetas (~61,4 PJ; 24,8% y 11,7% del total), automóviles (~34,9 PJ; 14,1% y 6,7% del total) y taxis (~41,2 PJ; 16,7% y 7,9% del total), segmentos altamente dependientes de esta tecnología.

Por su parte, la tecnología de combustión a diésel alcanzó 47,3% del total, concentrado en los segmentos de carga pesada y transporte de pasajeros, particularmente en camiones (~64,6 PJ; 26,1% del consumo de tecnologías de combustión a diésel y 12,3% del total), tractocamiones (~66,8 PJ; 27,0 % y 12,8%), buses (~53,0 PJ; 21,4% y 10,1% del total) y volquetas (~31,2 PJ; 12,6% y 6,0% del total).

En contraste, las tecnologías de bajas y cero emisiones (BEV, HEV y PHEV) sumaron en conjunto ~4,26 PJ, lo que representa el ~0,8 % del consumo energético total, a pesar de evidenciar un crecimiento sostenido y una caída del precio comercial de estos vehículos (BloombergNEF, 2022; Electrive, 2024).

Por otro lado, la tecnología de combustión a gas natural vehicular (GNV) aportó ~16,87 PJ, equivalentes al 3,2% del consumo total, con mayor presencia en buses, camiones y automóviles, consolidándose como una opción intermedia de transición, mientras que el uso

de GLP y tecnologías a hidrógeno se mantuvo marginal y estadísticamente irrelevante en términos energéticos.

Considerando la evolución en el consumo energético por tecnología entre 2019 y 2024, la estructura tecnológica del modo carretero evidenció una persistente dependencia de los combustibles fósiles, aunque con desplazamientos notables en la intensidad de uso por segmento (uso significativo). En 2024, las tecnologías de combustión a gasolina y diésel consolidaron su dominio con un 94,5% del consumo total, frente al 95,2% registrado en 2019, reflejando una transición sumamente lenta hacia energéticos alternativos. El consumo energético asociado al uso de tecnologías de combustión a gasolina mostró una evolución dispar. Mientras las motocicletas incrementaron su demanda un 12,4% (pasando de ~67,3 PJ en 2019 a ~75,6 PJ en 2024), los automóviles particulares experimentaron una reducción del 9,1% (descendiendo de ~38,4 PJ a ~34,9 PJ), lo que sugiere una migración hacia patrones de movilidad más ligeros y una mayor eficiencia por renovación vehicular.

Por otro lado, las tecnologías de combustión a diésel (~47,3 % del total) mantuvieron su hegemonía en el transporte de carga y pasajeros, donde los tractocamiones y camiones sumaron el ~53,1% del consumo (~131,4 PJ combinados), una cifra que representó un crecimiento neto del 3,8 % respecto a los niveles de 2019. En cuanto a las tecnologías de bajas y cero emisiones (BEV, HEV y PHEV), aunque su participación en 2024 sigue siendo marginal con una participación de ~0,8% (~4,26 PJ), destaca un crecimiento exponencial frente al 0,15% (~0,78 PJ) que representaban en 2019, evidenciando el inicio de un cambio tecnológico hacia tecnologías más eficientes. Finalmente, las tecnologías de combustión a Gas Natural Vehicular (GNV) mostraron una contracción en su cuota de participación, pasando de representar el 3,9% del consumo total en 2019 al 3,2 % en 2024 (~16,87 PJ), concentrándose principalmente en la renovación de flotas de buses y taxis.

De 2019 a 2024 no se han identificado cambios importantes en las tecnologías de los otros modos de transporte (aéreo, férreo, fluvial y marítimo) ni cambio en la eficiencia de estos modos de transporte.

Para estimar el consumo energético, primero se ajustó el parque vehicular efectivamente rodante en el país a partir de los despachos de combustibles líquidos observados en toda la serie histórica reportada en el BECO 2025. Al año 2024, bajo estas consideraciones, se estima un stock real rodante de aprox. 11,4 millones de vehículos, lo cual representa aprox. ~60% del total matriculado históricamente de acuerdo con RUNT. Por otro lado, la proyección del consumo energético en gasolina motor y diésel, los principales energéticos consumidos por este modo de transporte, se ajusta en relación con el Escenario Medio propuesto por la “Proyección de demanda de combustibles y GLP 2026-2040”, garantizando una

consistencia entre el volumen de combustibles líquidos consumidos y el número de vehículos rodantes que explican dicho consumo entre el año 2025 y 2035.

Para el caso del sector transporte en el modo carretero se construye un enfoque metodológico propio el cual parte de la base histórica (2012–2024) de nuevas matrículas de vehículos desagregados por medio/segmento (Automóvil, camioneta, motocicleta, bus, camión, etc.), que tiene por objetivo proyectar las matrículas futuras de vehículos para el periodo 2025–2035 por segmento y tecnología, combinando análisis estadístico, técnicas econométricas, simulación estocástica y modelos de optimización. Esta metodología permitió capturar la tendencia de entrada de nuevas tecnologías como BEV, HEV y PHEV en diferentes segmentos, estimando una evolución natural probable. Una vez se estimó la participación tecnológica por segmento vehicular, se procedió a calcular el número de vehículos por tecnología en cada segmento y posteriormente el consumo energético por segmento, por tecnología y por energético.

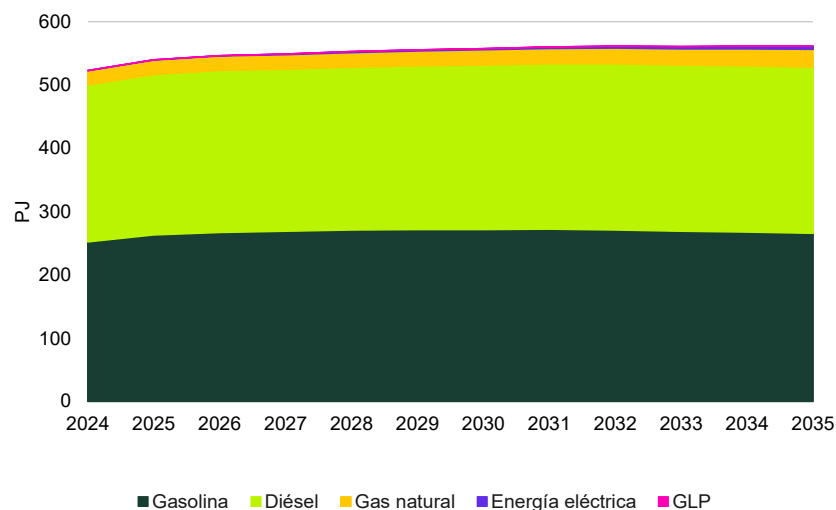
De acuerdo con la **Figura 28**, entre 2025 y 2035, el consumo energético del modo carretero se mantiene fuertemente concentrado en combustibles fósiles líquidos, particularmente gasolina y diésel, los cuales continúan dominando la matriz energética del transporte terrestre. Hacia 2035, el consumo energético total del transporte carretero aumenta moderadamente hasta aproximadamente 561,6 PJ, lo que representa un crecimiento acumulado cercano al 4,0% respecto a 2025. A pesar de este incremento, la estructura energética del sector muestra una lenta diversificación tecnológica. En ese año, el diésel alcanza ~262,9 PJ, consolidando su participación con ~46,8% del total, mientras que la gasolina registra ~265,4 PJ, equivalentes al 47,3% del consumo energético, evidenciando una ligera reducción relativa frente a su participación inicial. En conjunto, ambos combustibles continúan explicando cerca del 94,1% del consumo energético del transporte carretero, lo que confirma la persistente dependencia del sector respecto a combustibles fósiles convencionales.

En contraste, los energéticos alternativos presentan tasas de crecimiento significativamente mayores, aunque partiendo de niveles iniciales muy bajos. El consumo energético asociado al GNV aumenta desde ~22,4 PJ en 2025 a ~27,8 PJ en 2035, lo que representa un crecimiento acumulado de aproximadamente 23,9%, elevando su participación dentro de la matriz energética del transporte carretero desde 4,2% hasta cerca del 5,0%. De manera aún más marcada, el consumo de electricidad muestra una expansión acelerada al pasar de ~0,92 PJ en 2025 a ~5,44 PJ en 2035, lo que equivale a un crecimiento cercano al 488%, impulsado principalmente por la creciente penetración de tecnologías de movilidad eléctrica en segmentos ligeros del parque automotor. No obstante, a pesar de esta expansión relativa,

la electricidad sigue representando menos del 1% del consumo energético total del modo carretero hacia el final del período de análisis.

Finalmente, el GLP y el hidrógeno mantienen participaciones energéticas prácticamente nulas durante todo el horizonte de proyección. El consumo de GLP permanece constante en torno a ~0,003 PJ, mientras que el hidrógeno registra valores del orden de 10^5 PJ, lo que refleja la ausencia de una penetración significativa de estas tecnologías dentro del transporte carretero en el corto y mediano plazo. En conjunto, estos resultados sugieren que, si bien se observa un crecimiento progresivo de energéticos alternativos y de tecnologías de bajas emisiones, la transición energética del transporte carretero continúa siendo gradual, manteniéndose una fuerte dependencia estructural de combustibles fósiles durante la próxima década.

Figura 28. Proyección línea base por energético sector transporte carretero



Fuente: UPME.

En cuanto a otros modos de transporte (aéreo, férreo, marítimo y fluvial), se proyecta un crecimiento promedio de 2,9% con picos en 2027 y 2028 de 3,3% y 3,2%, respectivamente, de acuerdo con la información reportada en la NDC 3.0. No se espera un cambio en los tipos de combustible utilizados en ninguno de los otros modos de transporte (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025).

6.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector transporte

La trayectoria de consumo energético del transporte carretero bajo escenario de línea base presenta una tendencia creciente en el mediano plazo, pasando de aproximadamente 523 PJ en 2024 a un máximo cercano a 560–562 PJ entre 2031 y 2035, como se presenta en la **Figura 29**, lo que implica un incremento acumulado del orden de ~7,3% en dicho periodo. El ahorro energético total esperado asociado con la implementación de las medidas priorizadas para el modo carretero del sector transporte se contabiliza en ~240,4 PJ con emisiones evitadas esperadas durante el periodo 2027-2035 del orden de 17,1 MtCO₂. A continuación, en la Tabla 9, se presentan las medidas priorizadas con mayor potencial de ahorro energético para el modo carretero del sector transporte.

Tabla 9. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector transporte carretero

Tipo de medida	Medida	Potencial de ahorro [PJ]	Participación [%]	Emisiones evitadas [MtCO ₂ eq]
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de combustibles líquidos → Adquisición de vehículos eléctricos (BEV): Automóvil, Campero, Camioneta, Motocicleta, Taxi, Microbús, Bus, Busetas, Camión, Tractocamión.	107,26	44,62%	7,57
Reconversión tecnológica - RT	Mejoramiento de la eficiencia vehicular: Implementación de Etiqueta y Estándares de Eficiencia Energética (Motocicletas)	28,17	11,72%	1,96
Reconversión tecnológica - RT	Mejoramiento de la eficiencia vehicular: Adquisición de vehículos HEV, PHEV	27,06	11,26%	1,91
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Digitalización (EcoDriving.): Buses (Transporte masivo de pasajeros) + Camión, Tractocamión (Transporte logístico)	22,58	9,39%	1,62

Tipo de medida	Medida	Potencial de ahorro [PJ]	Participación [%]	Emisiones evitadas [MtCO ₂ eq]
Reconversión tecnológica - RT	Mejoramiento de la eficiencia vehicular: Implementación de Etiqueta y Estándares de Eficiencia Energética (Camión, Tractocamión)	15,79	6,57%	1,17
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Digitalización (EcoRouting): Buses (Transporte masivo de pasajeros) + Camión, Tractocamión (Transporte logístico)	14,66	6,10%	1,05
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Digitalización (Fleet Management Systems – FMS): Buses (Transporte masivo de pasajeros) + Camión, Tractocamión (Transporte logístico)	11,65	4,85%	0,84
Sustitución de combustibles - SC	Cambio modal: Particular liviano (Automóvil, Camper, Camioneta) → No motorizado	10,84	4,51%	0,75
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de combustibles líquidos → Adquisición de vehículos a GNV (Bus, Camión, Tractocamión)	2,36	0,98%	0,20

Fuente: UPME.

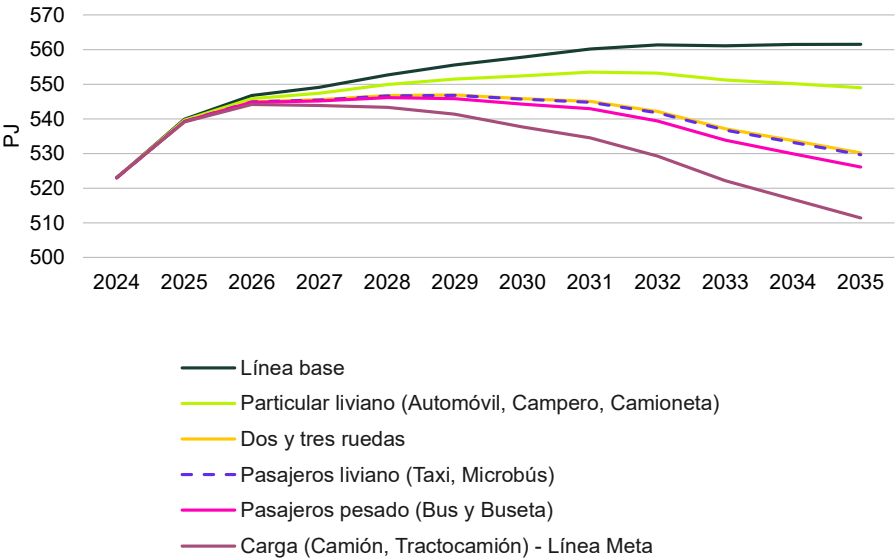
La sustitución de combustibles líquidos se posiciona como la principal estrategia de mitigación, con un aporte de 109,62 PJ, equivalente al 45,60% del potencial total de ahorro energético. Este resultado confirma que la transición hacia energéticos alternativos particularmente la electrificación (2,36 PJ de ahorro por adquisición de Camiones, Tractocamiones y Buses a GNV), constituye el eje central para alcanzar los objetivos del sector. En segundo lugar, el mejoramiento de la eficiencia vehicular contribuye con 71,02 PJ (29,54%), consolidándose como la principal estrategia complementaria. Esto indica que, mientras se materializa la sustitución total de combustibles, la optimización de tecnologías existentes y la incorporación de estándares más exigentes de eficiencia permiten capturar reducciones significativas en el corto y mediano plazo.

Por su parte, la digitalización aporta 48,90 PJ (20,34%), evidenciando que las acciones operacionales como la conducción eficiente, la gestión de flotas y la optimización de rutas tienen un rol relevante y transversal en la reducción del consumo, especialmente por su capacidad de implementación relativamente rápida y su efecto acumulativo sobre la eficiencia del sistema en segmentos donde la electrificación presenta barreras de corto plazo para su despliegue.

“
Este resultado confirma que la transición hacia energéticos alternativos particularmente la electrificación (2,36 PJ de ahorro por adquisición de Camiones, Tractocamiones y Buses a GNV), constituye el eje central para alcanzar los objetivos del sector
”

En contraste, el cambio modal de viajes en el uso de particular privado (Automóvil, Campero, Camioneta) hacia alternativas no motorizadas, presenta la menor contribución, con 10,84 PJ (4,51%), lo que sugiere que, en el horizonte analizado, las transformaciones en los patrones de movilidad y en la demanda de transporte tienen un impacto más limitado frente a las intervenciones tecnológicas. Esto refleja tanto la alta dependencia estructural del sistema respecto al modo carretero como las mayores barreras de implementación asociadas a cambios en comportamiento, infraestructura y planificación territorial.

Figura 29. Proyección línea meta por uso del modo carretero del sector transporte



Fuente: UPME.

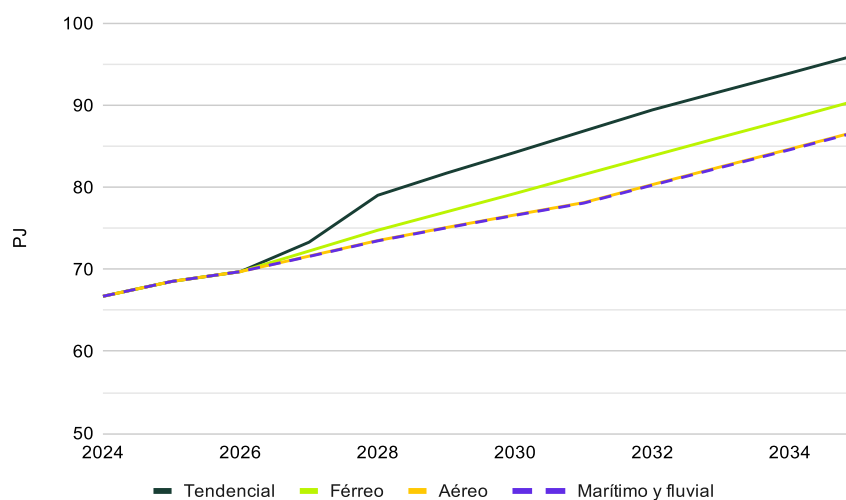
La trayectoria de consumo energético de otros modos de transporte bajo el escenario de línea base presenta una tendencia creciente en el mediano plazo, pasando de aproximadamente 65,9 PJ en 2024 a 96 PJ en 2035, como se presenta en la **Figura 30**, lo que implica un incremento acumulado del orden de ~45,6% en dicho periodo. El ahorro energético total esperado asociado con la implementación de las medidas priorizadas para otros modos del sector transporte se contabiliza en ~67,6 PJ durante el periodo 2027-2035, con un ahorro estimado de 5,65 MtCO₂eq. A continuación, se presentan las medidas priorizadas con mayor potencial de ahorro energético para los otros modos del transporte, los cuales incluyen el modo aéreo, férreo, marítimo y fluvial.

Tabla 10. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector transporte en otros modos

Tipo de medida	Medida	Potencial de ahorro [PJ]	Participación [%]	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Sustitución de combustibles - SC	Transferencia de carga y pasajeros al Sistema férreo	42,70	63,13%	3,44
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Navegación aérea basada en desempeño	24,41	36,09%	2,16
Sustitución de combustibles - SC	Electrificación de los motores fuera de borda en sistemas de navegación fluvial	0,28	0,41%	0,03
Sustitución de combustibles - SC	Transferencia de carga al sistema fluvial	0,25	0,37%	0,02

Fuente: UPME.

En la **Figura 30** se puede observar la proyección de la línea base y la línea meta en los otros modos del sector transporte, donde se evidencia un crecimiento en el consumo de energéticos con un cambio en la tendencia por las medidas de eficiencia energética, donde el sistema férreo y el aéreo son los que más aportan a la meta.

Figura 30. Proyección línea meta de otros modos del sector transporte

Fuente: UPME.

6.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector transporte

Los resultados actualizados para el sector transporte muestran una diferenciación muy marcada entre los distintos modos de transporte y tipos de intervención tecnológica, evidenciando que los beneficios económicos, energéticos y sociales de las medidas dependen significativamente de la intensidad energética de cada segmento, de los factores de utilización de las flotas y de la magnitud de las externalidades evitadas. En términos generales, las medidas asociadas al transporte carretero de pasajeros continúan presentando los mejores resultados desde la perspectiva social, aun cuando las relaciones beneficio-costo privadas permanecen ampliamente por debajo de la unidad.

Como se presenta en la Tabla 11, La sustitución de diésel en transporte carretero de pasajeros registra un B/C privado de apenas 0,27, mientras que el B/C sistema alcanza 0,98 y el B/C social 3,16. De manera similar, la sustitución de taxis por vehículos eléctricos e híbridos presenta un B/C privado de 0,32, frente a un B/C social de 2,43. Estos resultados evidencian que, aunque las inversiones requeridas todavía representan una barrera económica importante para los agentes privados, los beneficios agregados asociados a reducción de emisiones, disminución de contaminación urbana, reducción de consumo de combustibles fósiles y menores impactos sobre salud pública generan ganancias netas significativas para la sociedad. Este comportamiento es consistente con sectores intensivos

en kilometraje y utilización diaria, donde los beneficios energéticos y ambientales acumulados son sustancialmente mayores.

Por su parte, como se presenta en la Tabla 11, el transporte de carga por carretera muestra un comportamiento intermedio, alcanzando un B/C privado de 0,31, un B/C sistema de 1,00 y un B/C social de 1,94. Este resultado es particularmente relevante desde la perspectiva económica, ya que evidencia que los beneficios energéticos sistémicos prácticamente compensan los costos de implementación, mientras que los beneficios sociales terminan consolidando la viabilidad económica integral de la medida. Esto sugiere que las externalidades positivas asociadas a reducción de emisiones y sustitución de diésel son suficientemente significativas para justificar mecanismos de apoyo público orientados a acelerar procesos de modernización tecnológica y logística. En contraste, la sustitución tecnológica en vehículos particulares continúa mostrando resultados limitados, con un B/C privado de 0,60 y relaciones beneficio-costos sistema y social de apenas 0,46. Este comportamiento sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, los beneficios energéticos y ambientales asociados al recambio masivo de vehículos particulares aún no logran compensar los costos de inversión requeridos, particularmente debido a menores factores de utilización y menores impactos agregados frente a otros segmentos de transporte intensivo.

Tabla 11. Análisis B/C Sector Transporte

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
RT - Sustitución vehículos particulares por VE e híbridos	0,60	0,46	0,46
RT - Sustitución de taxis por VE e híbridos	0,32	0,92	2,43
SC - Sustitución de diésel en transporte carretero de pasajeros	0,27	0,98	3,16
SC - Sustitución de diésel en transporte de carga	0,31	1,00	1,94
SC - Sustitución diésel, gasolina en transporte de férreo	1,15	0,18	0,70
SC - Sustitución de diésel, gasolina y fuel oil en transporte fluvial y marítimo	1,59	0,43	1,52

Fuente: UPME.

Los resultados incorporados para los modos férreo y fluvial/marítimo introducen además elementos particularmente relevantes para el análisis de política pública sectorial. La sustitución de diésel y gasolina en transporte férreo presenta un B/C privado de 1,15, es decir, económicamente rentable desde la perspectiva del inversionista privado, pero con

beneficios sistémicos y sociales inferiores a la unidad, alcanzando valores de 0,18 y 0,70 respectivamente. Esto sugiere que los beneficios capturados por el agente privado provienen principalmente de eficiencias operacionales y costos energéticos directos, mientras que el impacto agregado sobre el sistema energético y la sociedad resulta comparativamente limitado bajo los supuestos evaluados.

En contraste, la sustitución de diésel, gasolina y fuel oil en transporte fluvial y marítimo presenta uno de los resultados más interesantes del análisis: un B/C privado de 1,59 y un B/C social de 1,52, aunque con un B/C sistema de apenas 0,43. Este comportamiento evidencia que las medidas orientadas al sector fluvial y marítimo logran simultáneamente generar rentabilidad privada y beneficios sociales positivos, probablemente asociados a reducciones relevantes en emisiones contaminantes y mejoras en eficiencia energética de combustibles de alto impacto ambiental como el fuel oil.

6.4 Conclusiones y recomendaciones sector transporte

- Se recomienda el diseño de instrumentos de política pública, que permitan capturar los resultados del análisis beneficio-costos, en donde se valoran las externalidades positivas significativas, en segmentos como transporte público, taxis y carga. La focalización en estos segmentos evidencia el beneficio para la sociedad, lo que orienta la intervención estatal generando mayores retornos para el país.
- Por otro lado, se propone continuar con el desarrollo de mecanismos integrales de financiación para la renovación tecnológica de flotas de transporte público, carga y logística, mediante esquemas que combinen crédito preferencial, garantías, incentivos tributarios, instrumentos de pago por resultados ambientales y recursos de cooperación internacional orientados a mitigación climática.
- Es clave impulsar corredores energéticos para transporte de carga estratégicos que integren infraestructura de recarga eléctrica, abastecimiento de combustibles de bajas emisiones, plataformas digitales de gestión logística y mecanismos de respuesta de la demanda, facilitando la transición energética del transporte pesado.
- Se recomienda la valoración sobre la inclusión de los vehículos EREV (Extended Range Electric Vehicles) dentro de las tecnologías susceptibles de acceder a

incentivos tributarios en Colombia, considerando que su desempeño energético y ambiental se ubica en un punto intermedio entre los vehículos híbridos enchufables (PHEV) y los vehículos totalmente eléctricos (BEV). Actualmente, las tecnologías HEV, PHEV y BEV ya se encuentran contempladas dentro de los esquemas de certificación asociados a incentivos tributarios definidos por la UPME mediante la Resolución UPME 135 de 2025 y el marco del PAI PROURE 2022–2030. En este contexto, los EREV podrían representar una alternativa tecnológica coherente con los objetivos de eficiencia energética y reducción de emisiones del sector transporte, especialmente en etapas de transición hacia la electrificación total. Su mayor autonomía eléctrica frente a un PHEV convencional y su menor dependencia de combustibles fósiles podrían justificar una evaluación regulatoria orientada a determinar su elegibilidad dentro de los mecanismos actuales de incentivos, siempre que se definan criterios técnicos claros asociados a consumo energético, autonomía eléctrica y desempeño ambiental.

- Se recomienda diseñar e implementar un esquema integral para la aceleración del despliegue de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos, con un énfasis particular en superar las barreras existentes para el privado, particularmente en conjuntos residenciales y propiedades horizontales, encontrando respuestas anticipadas en los nuevos requerimientos para los sistemas eléctricos locales, potenciando los efectos de la electrificación en procesos de respuesta de la demanda, diseñando mecanismos para que los procesos de electrificación continúen su masificación con un papel activo del usuario como agente del sistema, con un usuarios informado que captura las señales regulatorias y normativas, que se convierten en un insumo de sus decisiones de consumo.
- Durante la formulación e implementación de la medida de estándares de eficiencia energética y etiqueta vehicular se recomienda definir los criterios técnicos para la evaluación del desempeño energético de las tecnologías vehiculares objeto de promoción, incluyendo, cuando aplique, indicadores como el consumo de energía por unidad de distancia y otros parámetros de eficiencia determinados mediante procedimientos de ensayo estandarizados. Asimismo, deberán establecerse los lineamientos para la implementación de las etiquetas y estándares de eficiencia energética vehicular, definiendo su alcance, metodología de evaluación, esquema de clasificación y articulación con la reglamentación nacional vigente y los referentes técnicos internacionales que resulten aplicables.

- Continuar con esquemas de formación del comportamiento en los usuarios (esquemas de pico y placa, y pico y placa solidario) esquemas de valoración de externalidades, en donde se transfieren a los usuarios el costo total, incluso el que no perciben por el uso de bienes públicos, congestión, contaminación, uso eficiente de los espacios públicos, contribuye a que se capturen beneficios sociales y ambientales, se aceleren los procesos de electrificación de la flota.
- Se recomienda incorporar el cambio modal como una línea estratégica complementaria dentro de la política de eficiencia energética del sector transporte, orientada a reducir la intensidad energética de la movilidad urbana mediante la sustitución progresiva de viajes en modos motorizados individuales por modos activos y transporte público de alta eficiencia.
 - Dado que su impacto en el corto plazo es limitado por factores estructurales, como la configuración urbana, la infraestructura existente y los hábitos de movilidad, se recomienda, a corto plazo, priorizar la consolidación de infraestructura para movilidad activa (ciclorrutas temporales/permanentes, urbanismo estratégico), la integración modal con sistemas de transporte público (intermodalidad bicicleta/transporte masivo), e instrumentos de gestión de la demanda, como restricciones al uso del vehículo particular en zonas de alta congestión.
 - A mediano plazo, se recomienda avanzar hacia la expansión estructural de redes de transporte público de alta capacidad y baja intensidad energética (BRT eléctricos, cable aéreo, Metro y trenes regionales), la planificación urbana orientada a reducir la necesidad de viajes motorizados de larga distancia, y la implementación de esquemas de incentivos económicos y regulatorios que desincentiven el uso intensivo del vehículo particular en zonas urbanas densamente pobladas. Finalmente, a largo plazo, se recomienda consolidar cambios en los patrones de ocupación del suelo que lleve a un cambio de paradigma de cómo se entienden, se planifican y se construyen las ciudades, priorizando a las personas sobre los vehículos particulares.
- Considerando los resultados energéticos obtenidos, se recomienda fortalecer la planificación e inversión en infraestructura férrea y fluvial como estrategia estructural de eficiencia energética nacional, dado que el cambio modal representa una de las

intervenciones con mayor potencial de reducción de consumo energético y emisiones en el largo plazo.

- Se recomienda apoyar la navegación basada en desempeño en el transporte aéreo, teniendo en cuenta que genera los mayores ahorros en combustible de las categorías del sector transporte no carretero.
- En relación con las medidas fluviales y marítimas y su potencial particularmente interesante debido a que logran simultáneamente rentabilidad privada y beneficios para la sociedad positivos, se sugieren incluir como estratégicas claves en programas de modernización energética sectorial, representando ganancias tempranas y co-beneficios en el territorio, que superarían incluso efectos sectoriales, como la generación de empleo, los nuevos encadenamientos productivos, y las reducciones de costos logísticos, entre otros.
- Se recomienda promover la adopción masiva de herramientas de analítica avanzada, telemetría, gestión de flotas, inteligencia artificial y optimización logística que permitan mejorar los factores de utilización vehicular, reducir recorridos vacíos y optimizar el consumo energético de los sistemas de transporte.
- Así mismo, implementar un sistema nacional de monitoreo que permita realizar seguimiento periódico a indicadores de eficiencia energética, electrificación, penetración tecnológica, intensidad energética y reducción de emisiones por modo de transporte, facilitando la evaluación, el cumplimiento en las metas y ajuste de las políticas sectoriales.
- Se recomienda posicionar la digitalización como una estrategia transversal prioritaria dentro de la política de eficiencia energética del sector transporte en Colombia, orientada a optimizar la operación del sistema de movilidad mediante el uso intensivo de datos, conectividad y tecnologías avanzadas de análisis.
 - A diferencia de otras medidas estructurales, la digitalización presenta un alto potencial de impacto en el corto y mediano plazo, al actuar directamente sobre las ineficiencias operativas del sistema, tales como la congestión, la conducción ineficiente, los tiempos de inactividad y la planificación subóptima de rutas. En este sentido, su implementación permite reducir consumos energéticos sin

requerir transformaciones inmediatas en la infraestructura física o en la composición tecnológica del parque vehicular.

- Para el caso colombiano, se recomienda en el corto plazo, priorizar la adopción de soluciones de Eco-Driving en flotas públicas y privadas, mediante sistemas de telemetría y plataformas de monitoreo que promuevan hábitos de conducción eficientes, la implementación de Sistemas de Gestión de Flotas (FMS) en subsectores estratégicos (transporte de carga, transporte público masivo y logística urbana), con énfasis en monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y optimización del uso de activos, el despliegue de herramientas de Eco-Routing, integradas a plataformas de navegación y logística, que incorporen criterios energéticos en la planificación de rutas, y el fortalecimiento de plataformas digitales existentes para la gestión del tráfico, con integración de datos en tiempo real (centros de control de tránsito). En el mediano plazo, se recomienda avanzar hacia la consolidación de una arquitectura digital interoperable, basada en estándares abiertos que permitan la integración de datos entre actores públicos y privados (autoridades, operadores, plataformas tecnológicas), el fortalecimiento de capacidades institucionales en analítica de datos, inteligencia artificial y gestión digital del transporte, la expansión de infraestructura habilitante (IoT, conectividad, computación en la nube), especialmente en corredores logísticos estratégicos y principales áreas metropolitanas, y la articulación con iniciativas internacionales como el proyecto ACCESS, liderado por el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas, con el fin de acelerar la transferencia de conocimiento y la implementación de pilotos.
- En el largo plazo, se recomienda consolidar un ecosistema de movilidad inteligente, donde vehículos, infraestructura y usuarios estén plenamente interconectados mediante la integración de la digitalización con otras estrategias de descarbonización (electrificación, cambio modal), maximizando sinergias, así como la implementación de modelos predictivos avanzados para la gestión de la demanda y la planificación del transporte a nivel nacional.
- Adicionalmente, se recomienda incorporar explícitamente los beneficios energéticos de la digitalización en los instrumentos de planificación sectorial (como planes energéticos y de movilidad), desarrollar marcos regulatorios que faciliten el uso, intercambio y gobernanza de datos, garantizando seguridad y

privacidad y la promoción de esquemas de incentivos para la adopción de tecnologías digitales en pequeñas y medianas empresas del sector transporte, especialmente en el transporte de carga.

- Se reconoce el potencial estratégico del GNL y, especialmente, de los gases renovables como el biogás y el biometano para apoyar la transición energética del transporte, en particular en segmentos de difícil electrificación como el transporte pesado de carga y algunos servicios de pasajeros. En consecuencia, se recomienda continuar impulsando el desarrollo de las condiciones habilitantes para su adopción, incluyendo infraestructura de abastecimiento, disponibilidad de combustibles, desarrollo de cadenas de valor y mecanismos regulatorios y de mercado que favorezcan su competitividad. En la medida en que estas condiciones evolucionen y se disponga de mayor evidencia sobre su despliegue y sus beneficios energéticos, estas alternativas podrán ser objeto de una evaluación más amplia en futuras actualizaciones de los instrumentos de planeación del sector.
- En conjunto, los resultados reflejan que las medidas de transición energética en transporte presentan una importante divergencia entre la rentabilidad privada y el valor económico agregado para el sistema y la sociedad. Las medidas donde el B/C para el sistema y la sociedad superan la unidad y el B/C privado permanece deficitario, constituyen los casos más robustos para justificar instrumentos de promoción pública. Desde una perspectiva económica, esto evidencia la existencia de externalidades positivas que no son apropiadas directamente por los inversionistas privados, generando fallas de mercado que limitan la adopción espontánea de tecnologías eficientes y de bajas emisiones. Bajo este contexto, los incentivos tributarios contemplados en las Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, adquieren una justificación técnica y económica sólida, particularmente para segmentos como transporte carretero de pasajeros, taxis y carga, donde los beneficios al sistema energético y a la sociedad, son significativamente superiores a la rentabilidad privada observada.

7 ANÁLISIS SECTOR TERCIARIO

7.1 Línea base de consumo energético sector terciario

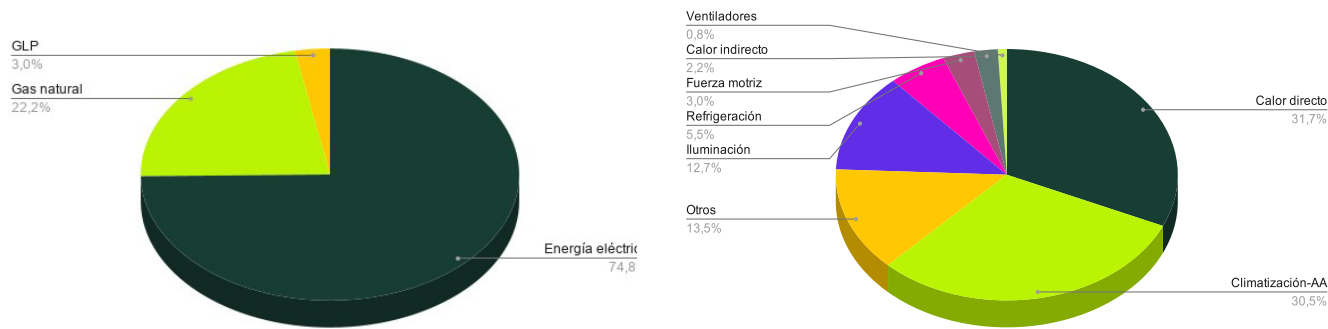
De acuerdo con el Balance Energético Colombiano - BECO (UPME, 2025), para el año 2024 el consumo total de energía en el sector terciario fue de 86,2 PJ, incluyendo el consumo final de actividades comerciales y de la actividad pública, lo cual representó aproximadamente el 5 % del consumo energético nacional, de los cuales 64,43 PJ (74,8%) correspondió al consumo de energía eléctrica, 19,16 PJ (22,2%) al consumo de gas natural y 2,57 PJ (3%) para GLP. Estos resultados evidencian que, al 2024, la energía eléctrica sigue siendo el energético de mayor consumo con participaciones menores de gases combustibles.

En términos de evolución, entre 2019 y 2024 se observa una marcada estabilidad en la estructura energética del sector, con distribuciones cercanas al 70% para energía eléctrica y entre el 22% y el 24% para gas natural y consumos promedio del 4% de GLP. Los cambios entre 2019 frente a la participación de los consumos energéticos son marginales, durante el periodo de análisis se observaron reducciones en el consumo total del sector para los años, 2020 y 2021 en el que se alcanzaron consumos de 67,3 PJ totales, sin embargo, para los años 2022 y 2023 se observan aumentos de consumo del 11 y 12% respectivamente, con una leve reducción para el año 2024.

Con relación a los usos la caracterización energética y el estudio de formulación de medidas innovadoras realizados en los años 2022 y 2023 por la UPME, señalan que el mayor consumo energético se destina a usos en calor directo, que para el sector se refiere a procesos de cocción y calentamiento de agua, con una participación del 31,7% del consumo total del sector, para este uso el principal energético es el gas natural con una participación del 70,2%, lo que representa el total del consumo de este energético (19,16PJ), igual situación se presenta con el GLP, que corresponde al 9,4% del consumo en calor directo, pero al cual se destina la totalidad del consumo de GLP con 2,57PJ.

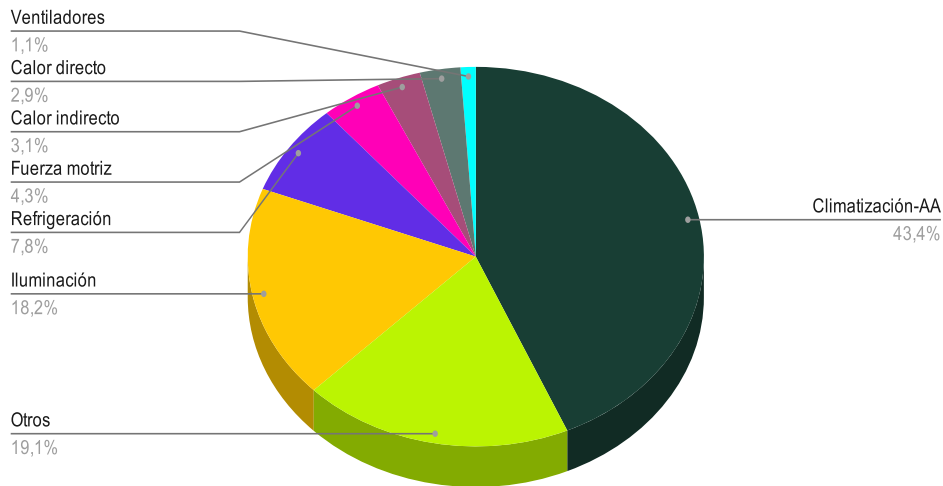
En este mismo estudio, respecto a otros usos el único energético es la energía eléctrica, donde se identifica un consumo en aire acondicionado con el 30,5%, seguido de otros, en el que se incluye consumo en ofimáticos, con el 13,5% y el 12,7% en iluminación, estos cuatro usos (calor directo, aire acondicionado, otro e iluminación) concentran el consumo energético y eléctrico del sector, con consumos marginales para refrigeración, fuerza motriz y calor indirecto. Sin embargo, dichas cifras serán complementadas con otros estudios para determinar el consumo del sector.

Figura 31. Balance de consumo sector terciario

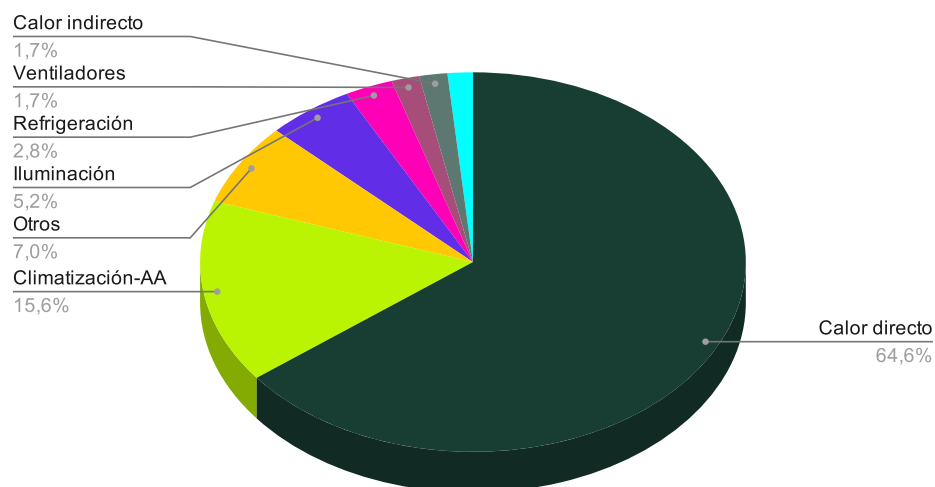


Fuente: UPME a partir de información LEAP, BECO 2025, (UPME-CORPOEMA, 2022) (UPME-CORPOEMA, 2025).

Figura 32. Usos energía eléctrica - Comercial



Fuente: UPME a partir de información LEAP, BECO 2025, (UPME-CORPOEMA, 2022) (UPME-CORPOEMA, 2025).

Figura 33. Usos energía eléctrica – Público

Fuente: UPME a partir de información LEAP, BECO 2025, UPME-CORPOEMA, 2022, UPME-CORPOEMA, 2025.

En 2025, se formuló el Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia (UPME-MITSIDI, 2025), este estudio permitió identificar que, del total del consumo energético 8,491 GWh en 2023, el 50% de este consumo proviene de zonas con clima cálido húmedo, así mismo se proyectó crecimientos anuales cercanos al 2,2%, correspondientes a la atención de demandas no cubiertas y a nuevas necesidades de climatización, en especial en a zonas de clima cálido húmedo, cálido seco y templado. Así mismo, desde las principales tecnologías se encuentran equipos split, centrales, pared/ventana y chillers, siendo esta última la más representativa con 5.726.923 TR en 2023.

En cuanto a refrigeración, la demanda energética relacionada para 2023 alcanzó un consumo de 1.580 GWh, impulsado por un crecimiento del sector servicios turísticos y la cadena de frío de alimentos y otros perecederos del sector salud, esto resulta en una participación en consumo de 5,8 % en producción, 41,6% en procesamiento, 48,7% en el empaque, almacenamiento, ventas, hoteles y restaurantes, y por último 4 % en el restante del sector terciario. En promedio se espera un crecimiento anual de 4% incluyendo demandas no satisfechas de refrigeración.

En cuanto al detalle en calor directo como ya se referenció, al cual corresponde el 100% de los consumos de gas natural y GLP, estos consumos están asociados principalmente a establecimientos de alojamiento y servicios de comida (79,9%), seguido de actividades recreativas y de esparcimiento (15,2%) y en menor proporción a actividades de administración

pública, educación y salud (UPME-CORPOEMA, 2022), con el uso de equipos de cocción y calentamiento de agua. Finalmente, los consumos en energía eléctrica asociados a este uso se concentran en hornos, calentadores de agua y una entrada moderada de instalación de estufas eléctricas convencionales y en menor medida de inducción.

En el caso de la iluminación, la fuerza motriz y la refrigeración, los cambios tecnológicos y las medidas de eficiencia energética a nivel nacional, han llevado a que haya una mayor eficiencia en los equipos, gracias a acciones como etiquetado energético, por medio de la Resolución 180173 de 2011 del Ministerio de Minas y Energía, restringiendo la utilización de bombillas o lámparas incandescentes como parte del RETILAP (UPME, 2022) y la aplicación de incentivos tributarios. Con respecto a la iluminación, ha sido importante la sustitución de luminarias de tecnologías como la incandescente y fluorescente por tecnología LED, que además de ser una tecnología con mayor eficiencia, han logrado procesos de madurez tecnológica y comercial que han permitido su masificación, lo cual implica una reducción del consumo energético asociado y una recomposición de la matriz de consumo del sector.

Procolombia señala que en los últimos años se han materializado importantes inversiones en la construcción y ampliación de data centers en el país, lo que evidencia una consolidación de Colombia como un mercado relevante en la región. En uno de sus informes, la entidad indica que, según estimaciones de Frost & Sullivan, Colombia incrementó su participación en el mercado regional de centros de datos en aproximadamente un 1% entre 2017 y 2022, alcanzando cerca del 9% del mercado latinoamericano, lo que la posiciona como el tercer mercado más importante de la región. Asimismo, los ingresos de la industria de data centers habrían alcanzado aproximadamente USD 37,6 millones en 2022, con un crecimiento anual cercano al 13% (PROCOLOMBIA, 2025).

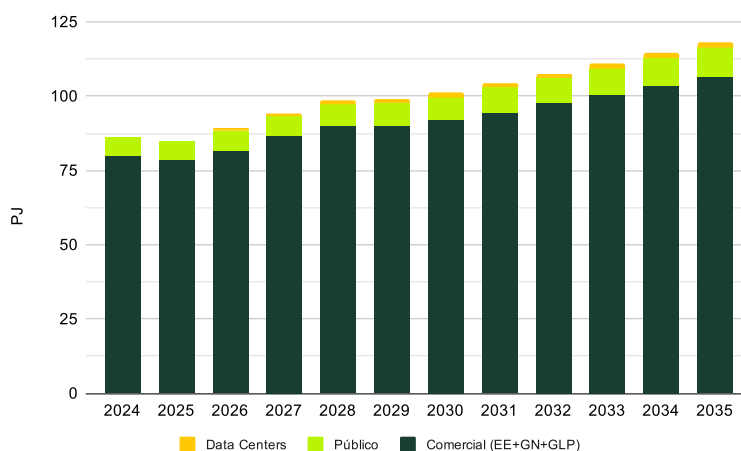
Este dinamismo del sector implica un aumento en los requerimientos de consumo energético, particularmente de energía eléctrica, dado el carácter electrointensivo de este tipo de infraestructura. Dicho crecimiento ha sido incorporado en los escenarios de planeación de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), específicamente dentro del componente de Grandes Consumidores Especiales (GCE), el cual considera las solicitudes de conexión y expansión de carga reportadas a la entidad.

En este contexto, la UPME señala que “Al incluir la información de vehículos eléctricos y GCE Grupo 1, se estima que la demanda de energía eléctrica en el escenario medio tendría un crecimiento anual entre 2,36% y 3,31%. Si se adiciona la demanda asociada a los GCE Grupo 2, el crecimiento se ubicaría entre 2,31% y 4,88% para el período 2024-2038, sin considerar el comportamiento de la generación distribuida” (UPME, 2025).

Para este ejercicio, se estableció el consumo de energía para el sector terciario, considerando

los datos de referencia (2012–2024) por energético del escenario tendencial del PEN 2022-2052 (UPME, PEN 2022-2052, 2025), la tasa de crecimiento estimada para el escenario de políticas declaradas del PEN 2025-2054 y los escenarios de demanda de energía eléctrica formulados por la UPME, complementado con la información de caracterización de consumo del sector, las estrategias propuestas en materia de eficiencia energética y lo formulado por el Plan Nacional de Innovación y Tecnología en climatización y refrigeración (PNIT), así como las participaciones por uso, energético y avances tecnológicos, se proyectan los consumos esperados para cada uso y energético, con especial énfasis en los cambios advertidos en climatización, refrigeración, otros usos (ofimáticos), entre otros, lo que nos permite proyectar la línea base de consumo energético del sector para el periodo 2025-2035.

Figura 34. Proyección línea base por energético sector terciario: comercial, público y data centers



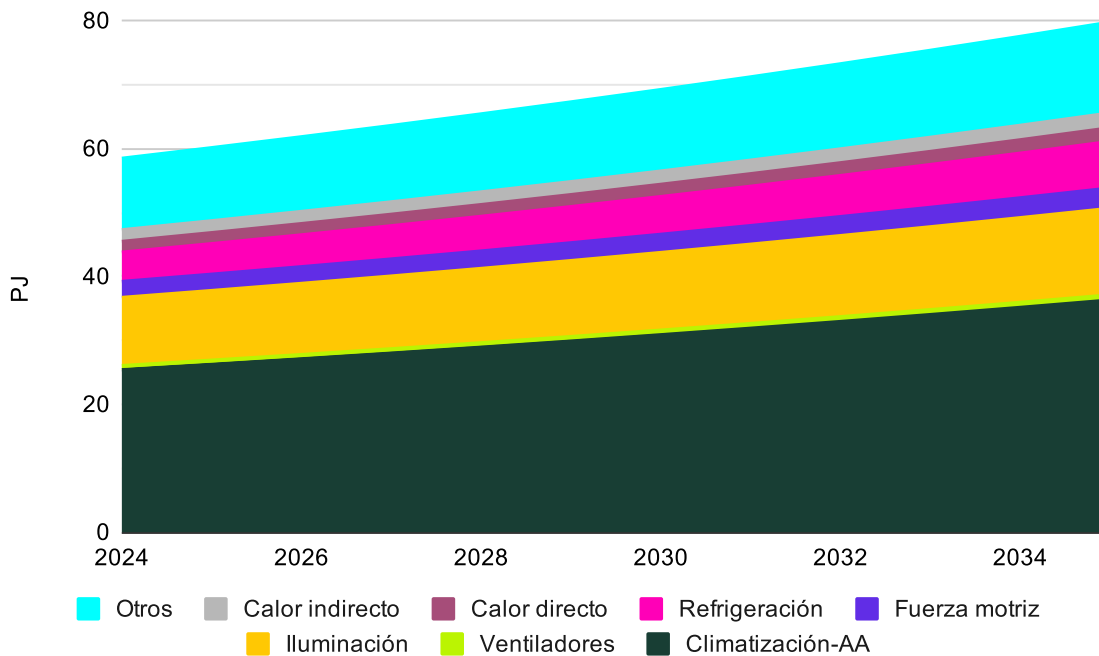
Fuente: UPME a partir de información proyecciones LEAP, BECO 2025, UPME-CORPOEMA, 2022, UPME-CORPOEMA, 2025.

Considerando la participación de los usos de energía eléctrica en el sector terciario, y su evolución en la línea base de consumo, se evidencia que los sistemas de climatización (incluyendo acondicionamiento de aire y ventilación) concentran la mayor demanda energética, con una participación igual o superior al 50%, manteniendo además una tendencia creciente a lo largo del periodo analizado. Este comportamiento responde al incremento en la demanda de confort térmico. En contraste, los sistemas de iluminación han reducido progresivamente su participación relativa hasta aproximadamente un 21%, como resultado de la adopción de tecnologías de alta eficiencia (como LED) y la implementación de mejores prácticas en el diseño y operación de edificaciones, aunque en términos absolutos se observa un crecimiento moderado en el consumo.

Por su parte, los usos asociados a calor directo (electricidad) y calor indirecto (electricidad) representan cerca del 11% y 4%, respectivamente, mostrando una tendencia creciente que puede estar asociada a procesos de electrificación de cargas térmicas en el sector. Asimismo, los sistemas de refrigeración aportan alrededor del 9% del consumo total, con un crecimiento sostenido en línea, con el aumento de la demanda de procesos de enfriamiento para la conservación de productos perecederos.

Por último, los equipos de fuerza motriz representan aproximadamente el 5% del consumo eléctrico del sector terciario, manteniendo una participación relativamente estable y menor frente a otros usos finales.

Figura 35. Usos energía eléctrica - comercial



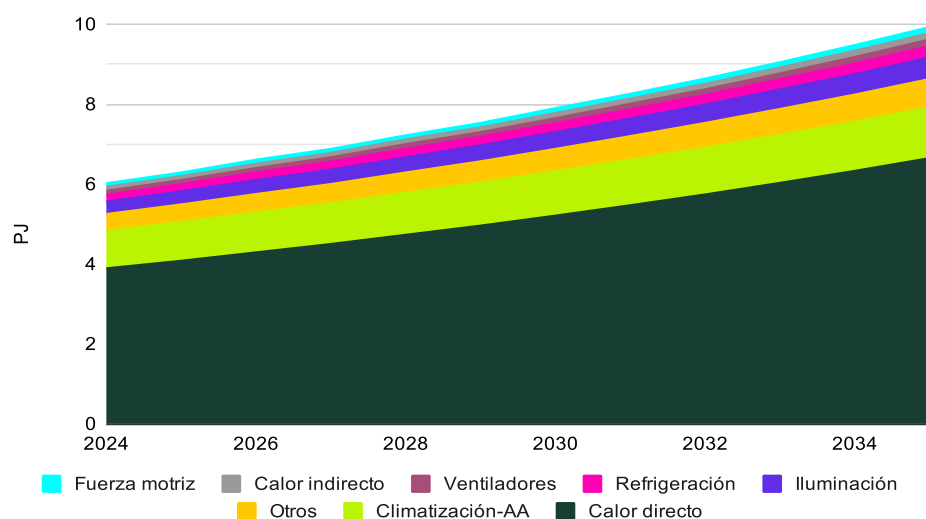
Fuente: UPME a partir de información proyecciones LEAP 2025.

Para los energéticos gas natural y GLP en el sector terciario, se observa que el gas natural mantiene una participación predominante, cercana al 85%–90% del consumo total de estos energéticos, mientras que el GLP representa aproximadamente entre el 10% y el 15% en lo relacionado a calor directo con combustibles. La línea base evidencia una tendencia general de crecimiento en el consumo de gas natural a lo largo del periodo analizado, con algunas variaciones interanuales, mientras que el GLP presenta un incremento moderado y sostenido.

Este comportamiento revela la alta dependencia del sector terciario del gas natural para usos de calor directo, especialmente en aplicaciones como cocción, calentamiento de agua y otros servicios térmicos. No obstante, en línea con los objetivos de eficiencia energética y descarbonización, se proyecta una reducción progresiva en el consumo de estos energéticos, impulsada por la sustitución hacia soluciones eléctricas más eficientes, como bombas de calor, y otras tecnologías de electrificación del calor.

Para el caso público, la mayor participación se da en el uso de energía eléctrica en calor directo, seguidos por lo relacionado a sistemas de climatización con acondicionadores de aire y la iluminación.

Figura 36. Usos energía eléctrica - Público



Fuente: UPME a partir de información proyecciones LEAP 2025.

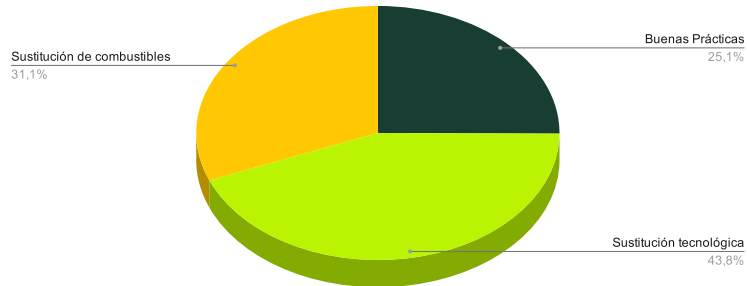
En este contexto, la tendencia esperada a mediano y largo plazo es una desaceleración del crecimiento del consumo de gas natural y GLP, e incluso su reducción en términos relativos, a medida que se incrementa la penetración de tecnologías eléctricas y se implementan medidas de eficiencia energética en el sector.

7.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector terciario

Dentro del análisis se incluyeron medidas orientadas a la mejora de la eficiencia energética del sector agrupadas en tres categorías: buenas prácticas operativas, renovación tecnológica

y sustitución de combustibles, distribuidas como se muestra a continuación:

Figura 37. División de medidas por tipo



Fuente: UPME.

En cuanto a las medidas relacionadas con el sector terciario, aquellas asociadas a la sustitución de combustibles se destacan por su enfoque en la electrificación de los usos térmicos, especialmente en aplicaciones de calor directo. Estas incluyen el reemplazo de equipos tradicionales que operan con combustibles fósiles por tecnologías eléctricas más eficientes, como bombas de calor, hornos eléctricos con control avanzado y sistemas de cocción por inducción.

De igual forma, las medidas orientadas a la implementación de sistemas de digitalización, submedición y control, junto con las estrategias de recuperación de calor, y la sustitución de equipos y sistemas por opciones de mayor eficiencia energética y con refrigerantes de bajo potencial de calentamiento atmosférico (GWP), constituyen un conjunto de acciones clave para la reducción del consumo de energía en los usos de climatización y refrigeración.

De manera complementaria, se destacan la implementación de infraestructura de medición avanzada (AMI) y la adopción de buenas prácticas operativas (BPO) en el uso de todos los energéticos, incluyendo la gestión energética a nivel institucional mediante figuras como el gestor municipal y la implementación de sistemas integrales de energía. Asimismo, se consideran acciones como la optimización de la combustión, el mejoramiento de los sistemas de iluminación mediante tecnologías eficientes y dispositivos de control, así como la incorporación de variadores de velocidad y la sustitución de motores por alternativas de mayor eficiencia energética.

Adicionalmente, se incluyen medidas específicas como la telegestión del alumbrado público, la instalación de puertas en vitrinas refrigeradas, la dimerización y sustitución por sistemas de iluminación LED, y el mejoramiento del aislamiento térmico en equipos eléctricos de

calefacción, las cuales contribuyen a reducir pérdidas energéticas y optimizar la operación de los sistemas. Finalmente, la implementación de distritos energéticos (calor, frío, energía eléctrica) o la adición de nuevos usuarios a los ya implementados, complementado con el uso de fuentes no convencionales de energía, sistemas de enfriamiento innovadores y soluciones orientadas a nuevos desarrollos, aunque presentan un menor impacto relativo individual, aportan a la consolidación de una estrategia integral de eficiencia energética al abordar de manera transversal diferentes usos finales y condiciones operativas del sector.

De manera transversal y considerando que, a nivel global, el sector de edificaciones se ha consolidado como un eje estratégico para la transición hacia modelos de desarrollo sostenible, con una creciente incorporación de requisitos de eficiencia energética y construcción sostenible tanto en esquemas obligatorios como voluntarios. Se debe a las medidas pasivas que han adquirido un papel predominante, especialmente aquellas relacionadas con el diseño de la envolvente y la aplicación de principios de arquitectura bioclimática, que permiten reducir la demanda energética desde la fase de concepción de las edificaciones.

Los marcos regulatorios internacionales evidencian un alto nivel de exigencia en componentes como cubiertas, muros y acristalamientos, así como en los sistemas de climatización (acondicionamiento de aire y ventilación). Sin embargo, aún persisten brechas en elementos complementarios, como dispositivos de sombreadamiento y otros componentes constructivos, los cuales pueden incidir significativamente en el desempeño térmico global. En este sentido, el fortalecimiento de las medidas pasivas representa una de las estrategias más costo-efectivas para mejorar la eficiencia energética, especialmente en climas donde las condiciones ambientales permiten maximizar el aprovechamiento de la ventilación natural, la inercia térmica y la protección solar.

En Colombia, el marco normativo ha evolucionado para integrar criterios de construcción sostenible, destacando la actualización de lineamientos que incorporan la diversidad climática del país. Esta clasificación permite definir estrategias diferenciadas según condiciones de temperatura y humedad, promoviendo soluciones adaptadas a cada contexto. La implementación de medidas pasivas, como la optimización de la relación ventana-pared, el mejoramiento de la transmitancia térmica de los materiales, el uso de vidrios de control solar y la incorporación de cubiertas verdes, contribuyen de manera significativa a la reducción del consumo energético en edificaciones.

De manera complementaria, las medidas activas de eficiencia energética se enfocan en la optimización de los sistemas de iluminación y climatización (acondicionamiento de aire y ventilación). En iluminación, se prioriza el aprovechamiento de la luz natural, la reducción de

la densidad de potencia instalada y el uso de controles inteligentes. En climatización, se promueve la adopción de equipos de alta eficiencia, la incorporación de sensores para el control de la ventilación y la implementación de tecnologías como variadores de velocidad y sistemas de recuperación de calor.

Adicionalmente, los estudios técnicos desarrollados en el país han evidenciado que la combinación de medidas pasivas, activas y estrategias de electrificación permite alcanzar mejoras significativas en el desempeño energético de las edificaciones. Los resultados muestran que las condiciones climáticas juegan un papel determinante en el consumo, siendo los climas cálidos húmedos los de mayor demanda energética en climatización, mientras que en climas templados y cálidos secos existe un mayor potencial para la aplicación de estrategias pasivas.

“ Adicionalmente, los estudios técnicos desarrollados en el país han evidenciado que la combinación de medidas pasivas, activas y estrategias de electrificación permite alcanzar mejoras significativas en el desempeño energético de las edificaciones ”

Finalmente, la transición hacia edificaciones sostenibles requiere la implementación de acciones estructurales que integren el diseño eficiente, la electrificación de los usos finales y la adopción de estándares de desempeño energético. En este sentido, la consolidación de herramientas como el etiquetado energético y la definición de metas de electrificación total en nuevas edificaciones constituyen elementos fundamentales para avanzar hacia la carbono neutralidad del sector.

El análisis de las medidas de eficiencia energética para el sector terciario evidencia un importante potencial de reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante medidas que corresponden principalmente a la electrificación de usos finales, la modernización tecnológica y la implementación de criterios de sostenibilidad en edificaciones.

En este contexto, la sustitución de tecnologías de cocción convencionales por soluciones eléctricas eficientes se posiciona como una de las principales estrategias. De igual manera, las medidas de construcción sostenible, relacionadas con el aprovechamiento de iluminación natural y el mejoramiento del confort térmico, reflejan la importancia de integrar criterios de eficiencia energética desde las etapas de diseño y construcción.

En el componente de reconversión tecnológica se destacan las acciones relacionadas con la modernización de sistemas de climatización y refrigeración, integrando refrigerantes de bajo potencial de calentamiento atmosférico (GWP), así como la implementación de intercambiadores de calor y sistemas de recuperación de energía.

Las estrategias de digitalización y gestión energética también presentan un papel relevante. La implementación de sistemas integrales de energía, automatización, monitoreo y submedición avanzada facilita el seguimiento del desempeño energético, mejora la operación de los equipos y permite identificar oportunidades de optimización. De igual manera, la incorporación de tecnologías de medición avanzada fortalece la gestión de la demanda y habilita esquemas de control y operación más eficientes.

Las buenas prácticas operacionales continúan siendo un componente fundamental dentro de las estrategias de eficiencia energética del sector terciario. Acciones como la optimización de sistemas de climatización, el mantenimiento preventivo, la mejora de aislamientos, el control de fugas y la calibración de equipos permiten obtener reducciones importantes en el consumo energético sin requerir grandes inversiones. Asimismo, las medidas relacionadas con iluminación eficiente y sistemas de control contribuyen a mejorar el desempeño energético de edificaciones comerciales e institucionales. Así mismo, la implementación de distritos energéticos (calor, frío o energía eléctrica), así como la integración a sistemas ya existentes en operación, constituye una medida complementaria que aporta a la reducción del impacto energético y ambiental de las edificaciones.

En la siguiente tabla se presentan las medidas analizadas para el sector terciario, así mismo el potencial de ahorro de energía y emisiones.

Tabla 12. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector terciario

Tipo de Medida	Medidas	Aporte a las metas del sector (PJ)	Aporte a las metas del sector %	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de cocción de gas por estufas de inducción.	70,62	24,67%	4,37
Reconversión tecnológica - RT	Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental para refrigeración y climatización	44,45	15,53%	2,67
Reconversión tecnológica - RT	Construcción sostenible medidas pasivas (medidas para el aprovechamiento de luz solar, medidas para mejoramiento de confort térmico y operación de equipos)	43,85	15,32%	2,68
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Realizar la optimización de refrigeración y climatización en el sector comercial	29,33	10,24%	1,79

Tipo de Medida	Medidas	Aporte a las metas del sector (PJ)	Aporte a las metas del sector %	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Reconversión tecnológica - RT	Implementación de AMI	26,10	9,12%	1,60
Sustitución de combustibles - SC	Sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo (hornos eléctricos con recirculación de aire y control programable y estufas de inducción).	18,40	6,43%	1,11
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistemas de automatización y control en equipos ofimáticos	11,69	4,08%	0,71
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Gestor municipal, telegestión y control centralizado en sistemas de alumbrado público	10,46	3,65%	0,64
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Iluminación eficiente, automatización y control de sistemas de iluminación	10,17	3,55%	0,62
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada)	7,75	2,71%	0,48
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Buenas prácticas y mantenimiento de equipos	7,41	2,59%	0,45
Reconversión tecnológica - RT	Implementación de distritos energéticos	4,62	1,61%	0,28
Reconversión tecnológica - RT	Equipos de fuerza motriz de alta eficiencia	1,44	0,50%	0,09

Fuente: UPME.

Para el escenario planteado en este ejercicio se estima un potencial total de ahorro de energía y ambiental, como se describe a continuación:

Tabla 13. Resultados consolidados sector terciario

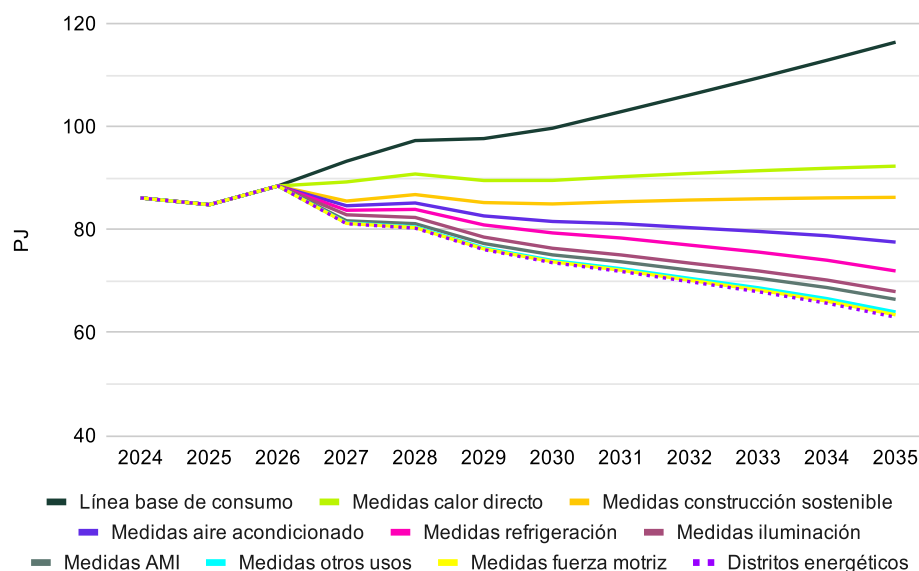
Energéticas	• 286,29 PJ
Ambiental	• 17,49 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

A continuación, se compara la línea base y meta, así como el aporte de cada uno de los usos para el sector terciario para el periodo comprendido entre el año 2026 a 2035, expresado en PJ. Se identifican, los mayores aportes de reducción de consumo energético en lo relacionado a calor directo con la sustitución de cocción de gas a energía eléctrica, climatización y

refrigeración con la renovación tecnológica de equipos y las medidas pasivas de construcción sostenible.

Figura 38. Proyección línea meta por uso sector terciario



Fuente: UPME.

La implementación de las medidas de eficiencia energética priorizadas permite establecer una línea meta de consumo para el sector terciario significativamente inferior a la trayectoria tendencial proyectada en la línea base. Los resultados indican un potencial acumulado de ahorro energético de 286,29 PJ durante el periodo 2026-2035, acompañado de una reducción estimada de 17,49 millones de toneladas de CO₂ equivalente, lo que evidencia la relevancia del sector en el cumplimiento de las metas nacionales de eficiencia energética y descarbonización.

La comparación entre la línea base y la línea meta muestra que los mayores aportes a la reducción de la demanda energética provienen de los usos asociados a calor directo, climatización, refrigeración e iluminación, los cuales concentran la mayor parte del consumo energético del sector. Este resultado es consistente con la estructura de consumo identificada en la línea base, donde los sistemas de acondicionamiento de aire, los procesos térmicos y la iluminación representan los principales usos finales de energía.

El mayor potencial de reducción se concentra en los usos de calor directo, impulsado principalmente por la sustitución de tecnologías convencionales de cocción y calentamiento que utilizan gas natural y GLP por soluciones eléctricas de alta eficiencia, tales como estufas de inducción, bombas de calor y hornos eléctricos con sistemas avanzados de control. En

conjunto, estas medidas aportan más del 30% del potencial total de ahorro energético del sector, constituyéndose en el principal eje de transformación de la demanda energética.

Los sistemas de climatización representan el segundo grupo de medidas con mayor contribución a la meta sectorial. La incorporación de tecnologías de alta eficiencia, sistemas de recuperación de calor, digitalización, automatización, submedición y control operativo permite reducir de manera significativa los consumos asociados al acondicionamiento de aire y ventilación. Este aspecto resulta especialmente relevante considerando que estos sistemas concentran más del 50% de la demanda eléctrica proyectada del sector y mantienen una tendencia creciente asociada al incremento de las necesidades de confort térmico y a la expansión de actividades comerciales y de servicios.

De igual manera, las medidas dirigidas a los sistemas de refrigeración aportan reducciones importantes de consumo energético mediante la modernización tecnológica de equipos, la incorporación de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global, la optimización de la operación y la implementación de sistemas inteligentes de control. Estas acciones cobran especial relevancia debido al crecimiento esperado de la cadena de frío asociada a los sectores comercial, turístico, alimentario y de salud.

En el caso de la iluminación, aunque su participación relativa en la demanda energética ha disminuido en los últimos años debido a la penetración de tecnologías LED, aún existe un potencial relevante de ahorro mediante la adopción de sistemas de control inteligente, dimerización, sensores de ocupación y aprovechamiento de iluminación natural. Estas medidas permiten complementar los beneficios obtenidos por la renovación tecnológica y profundizar la reducción de la demanda eléctrica del sector.

Adicionalmente, las medidas de construcción sostenible constituyen un componente transversal de la línea meta, al reducir de manera estructural los requerimientos energéticos de las edificaciones mediante estrategias pasivas de diseño, mejoramiento de envolventes térmicas, control solar y aprovechamiento de las condiciones climáticas locales. Este tipo de intervenciones genera beneficios sostenidos durante toda la vida útil de las edificaciones y contribuye simultáneamente a la reducción de los consumos de climatización e iluminación.

En términos agregados, la línea meta refleja una desaceleración significativa del crecimiento esperado de la demanda energética sectorial respecto al escenario tendencial, permitiendo que una proporción importante de las nuevas necesidades energéticas derivadas del crecimiento económico, la expansión de los servicios y el incremento de la digitalización sea atendida mediante mejoras en la eficiencia energética. Como resultado, el sector terciario avanza hacia una estructura de consumo más eficiente, electrificada y con menores

emisiones de gases de efecto invernadero, alineada con los objetivos nacionales de transición energética y carbono neutralidad.

7.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector terciario

El análisis beneficio/costo de las medidas priorizadas para el sector terciario evidencia diferencias importantes según la perspectiva evaluada (privada, sistema energético y sociedad). Sus resultados reflejan la necesidad de combinar instrumentos regulatorios, incentivos económicos y mecanismos de financiación para lograr una implementación efectiva de las medidas de eficiencia energética.

Tabla 14. Análisis B/C sector terciario

Medida	B/C privado	B/C sistema	B/C social
SC - Sustitución de cocción de gas por estufas de inducción.	0,002	0,10	31,07
RT - Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental para refrigeración y climatización	0,89	5,02	1,54
RT - Construcción sostenible medidas pasivas (medidas para el aprovechamiento de luz solar, medidas para mejoramiento de confort térmico y operación de equipos)	0,29	3,37	1,78
BPO - Realizar la optimización de refrigeración y climatización en el sector comercial	1,43	6,09	2,07
RT - Implementación de AMI	3,91	4,16	5,66
SC - Sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo (hornos eléctricos con recirculación de aire y control programable y estufas de inducción).	0,02	0,11	15,73
BPO - Sistemas de automatización y control en equipos ofimáticos	0,48	2,49	1,01
BPO - Gestor municipal, telegestión y control centralizado en sistemas de alumbrado público	0,40	4,98	1,07
BPO - Iluminación eficiente, automatización y control de sistemas de iluminación	0,13	4,99	2,65
BPO - Sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada)	0,87	4,99	1,14
BPO - Buenas prácticas y mantenimiento de equipos	17,74	4,75	1,72
RT - Implementación de distritos energéticos	0,35	1,02	1,90
RT - Equipos de fuerza motriz de alta eficiencia	0,05	5,02	1,25

Fuente: UPME.

Desde la perspectiva privada, las medidas de implementación de Sistema Integral de la Energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada), la optimización de refrigeración y climatización en el sector comercial y buenas prácticas y mantenimiento de equipos presentan una relación beneficio-costos (B/C) superior a uno; indicando que los beneficios económicos directos superan ampliamente los costos de implementación. Las demás medidas presentan relaciones B/C inferiores a uno, siendo particularmente bajas en las acciones relacionadas con sustitución de cocción de gas por estufas de inducción, sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo y la sustitución por motores de alta eficiencia, lo que evidencia la existencia de barreras económicas que limitan su adopción sin mecanismos de apoyo o instrumentos de política.

Desde la perspectiva del sistema energético, los resultados muestran una mejora significativa en la rentabilidad de la mayoría de las medidas, debido a la incorporación de beneficios asociados a la reducción de la demanda energética, la disminución de pérdidas y el aplazamiento de inversiones en infraestructura. En este escenario se destacan la optimización de refrigeración y climatización en el sector comercial los equipos (B/C = 6,09), sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental para refrigeración y climatización (B/C = 5,02), el Sistema Integral de la Energía (B/C = 4,99), entre otras, que presentan beneficios superiores a sus costos. En contraste, la sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo (B/C = 0,11) incluida la sustitución de cocción de gas por estufas de inducción (B/C = 0,10); continúan mostrando relaciones inferiores a uno, lo que indica que los beneficios para el sistema no compensan completamente los costos de inversión bajo los supuestos evaluados.

Finalmente, desde la perspectiva social, todas las medidas alcanzan relaciones beneficio-costos iguales o superiores a la unidad, lo que evidencia que, al incorporar los beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la reducción de emisiones, la mejora en la calidad del aire, el fortalecimiento de la seguridad energética y otros impactos positivos, las intervenciones generan un beneficio neto para la sociedad. Destaca especialmente la sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo, con una relación B/C de 31,07, resultado que refleja el elevado valor de las externalidades positivas asociadas a la descarbonización de estos procesos. Asimismo, sobresalen la sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo (B/C = 15,73) y la implementación de Infraestructura de Medición Avanzada - AMI (B/C = 5,66).

Los resultados evidencian que las medidas asociadas a digitalización y gestión energética, particularmente la implementación de AMI, constituyen una de las alternativas más robustas al presentar relaciones beneficio/costos favorables en las tres perspectivas analizadas. Asimismo, la electrificación de usos en calor directo y las estrategias de construcción

sostenible muestran beneficios sociales significativos, aun cuando su rentabilidad privada es limitada, lo que justifica la intervención pública para acelerar su adopción.

En conjunto, el análisis confirma que la combinación de medidas de eficiencia energética, electrificación de usos finales y digitalización constituye la estrategia más efectiva para alcanzar las metas sectoriales de reducción de consumo energético y emisiones. No obstante, las diferencias observadas entre los indicadores privados y sociales sugieren la necesidad de diseñar instrumentos que permitan internalizar los beneficios ambientales y sistémicos de largo plazo, facilitando así una mayor penetración de las tecnologías con mayores aportes a la transición energética del sector terciario.

7.4 Conclusiones y recomendaciones sector terciario

- La transformación energética del sector terciario requiere una estrategia integral y escalonada que combine eficiencia energética, electrificación de usos finales, digitalización, modernización tecnológica y criterios de construcción sostenible. Considerando el crecimiento proyectado del consumo asociado a climatización, refrigeración, infraestructura digital y expansión del sector servicios, resulta prioritario acelerar la adopción de tecnologías de alta eficiencia y fortalecer los instrumentos regulatorios y financieros que permitan reducir las barreras de implementación.
- Se recomienda priorizar, en el corto plazo, las medidas con mayores beneficios privados y sistémicos, particularmente aquellas relacionadas con la modernización de sistemas de climatización y refrigeración, la implementación de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), la automatización y control y la construcción sostenible. Estas medidas presentan altos potenciales de reducción de consumo energético y de emisiones, por lo que se recomienda, para su materialización, del diseño regulatorio oportuno y moderno.
- La implementación de AMI y sistemas avanzados de digitalización debe consolidarse como uno de los ejes estructurales de la transformación energética del sector terciario. Estas tecnologías permiten fortalecer la gestión activa de la demanda, habilitar esquemas de respuesta de demanda, optimizar la operación de edificaciones inteligentes y mejorar la calidad y trazabilidad de la información energética para la toma de decisiones. Asimismo, constituyen un habilitador fundamental para la incorporación de inteligencia artificial, analítica de datos y sistemas de gestión energética en tiempo real.

- Dado que los sistemas de climatización y refrigeración representan más del 50% del consumo eléctrico proyectado del sector, se recomienda articular los programas de reconversión tecnológica de equipos con mejores estándares de desempeño energético, con la aplicación de prácticas de construcción sostenible, que disminuyan la carga térmica de las edificaciones, así como la aplicación de estándares de desempeño energético (MEPS por sus siglas en inglés) que promuevan el uso eficiente y la operación de estos equipos dentro de los sistemas de climatización y refrigeración en edificaciones comerciales, institucionales y de servicios..
- El crecimiento esperado de centros de datos e infraestructura digital requiere el desarrollo de lineamientos específicos de eficiencia energética para este tipo de instalaciones, considerando su carácter electro intensivo y su impacto creciente sobre la demanda eléctrica nacional. En este sentido, se recomienda promover estándares de eficiencia para data centers, esquemas de certificación energética, sistemas avanzados de enfriamiento y estrategias de reutilización de calor residual. Asimismo, se recomienda incorporar criterios de flexibilidad y gestión de demanda que permitan reducir impactos sobre el sistema eléctrico durante periodos críticos e incluso que se conviertan en una estrategia estructural para la resiliencia del sistema energético nacional.
- En materia de electrificación, se recomienda fortalecer los mecanismos de promoción para la sustitución progresiva de combustibles fósiles en procesos térmicos de baja y media temperatura, especialmente en aplicaciones de cocción y calentamiento de agua. Tecnologías como estufas de inducción, bombas de calor y hornos eléctricos eficientes presentan importantes beneficios ambientales y sistémicos, aunque requieren instrumentos de apoyo que reduzcan las barreras económicas iniciales. En este contexto, se recomienda ampliar los incentivos tributarios, desarrollar líneas de crédito verde y esquemas ESCO, continuar con el fortalecimiento de estrategias de tercerización de servicios y mecanismos de financiación climática orientados a acelerar la electrificación de usos finales.
- Se recomienda acelerar la implementación de estándares de construcción sostenible y desempeño energético para nuevas edificaciones y grandes renovaciones, incorporando criterios diferenciados según condiciones climáticas regionales. La integración de estrategias pasivas de diseño, ventilación natural, control solar, materiales de alto desempeño térmico, iluminación eficiente y automatización de edificaciones puede generar reducciones estructurales y permanentes en la demanda

energética del sector. De igual manera, se recomienda fortalecer el etiquetado energético de edificaciones y avanzar hacia metas graduales de edificaciones de consumo energético casi nulo y carbono neutral.

- Resulta prioritario fortalecer los mecanismos de articulación territorial e institucional para la implementación de medidas de eficiencia energética. En este sentido, se recomienda consolidar figuras como gestores energéticos municipales y regionales, fortalecer las capacidades técnicas de entidades territoriales y promover programas sectoriales de asistencia técnica dirigidos a hospitales, hoteles, centros comerciales, instituciones educativas y edificaciones públicas.
- Se recomienda dar continuidad a esquemas integrales de gestión energética en el sector público como mecanismo demostrativo y de liderazgo institucional, priorizando la implementación de sistemas de monitoreo, automatización, submedición, control operativo y mantenimiento eficiente en edificaciones estatales. Estas acciones pueden generar reducciones significativas en el gasto público asociado al consumo energético y facilitar la replicabilidad de buenas prácticas en otros segmentos del sector terciario.
- En relación con iluminación y alumbrado público, se recomienda avanzar hacia esquemas de iluminación inteligente mediante sistemas de telegestión, sensores de ocupación, dimerización y control adaptativo, complementados con procesos de modernización tecnológica hacia soluciones LED de alta eficiencia. Estas medidas permiten reducir consumos energéticos, mejorar la calidad del servicio y optimizar la operación de la infraestructura urbana.
- Asimismo, se recomienda promover el desarrollo de distritos y soluciones energéticos integradas en zonas urbanas, industriales y complejos de servicios, especialmente en áreas con alta densidad de demanda térmica y eléctrica. La integración de sistemas de frío, calor y energía eléctrica, complementados con fuentes no convencionales de energía renovable y almacenamiento energético, puede mejorar significativamente la eficiencia global del sistema energético urbano.
- Se recomienda desarrollar estrategias diferenciadas de eficiencia para subsectores intensivos en consumo energético dentro del sector terciario, particularmente hospitales, hoteles y centros comerciales, considerando sus perfiles específicos de demanda y operación continua. En el caso de hospitales y clínicas, resulta prioritario

promover la modernización de sistemas de climatización y refrigeración, optimización de centrales térmicas, recuperación de calor, automatización de sistemas críticos y fortalecimiento de esquemas de gestión energética hospitalaria e implementación, de distritos energéticos en donde sea posible, dada la alta participación de consumos asociados a confort térmico, cadena de frío y operación permanente de equipos especializados.

- Para el sector hotelero, se recomienda impulsar programas orientados a la electrificación eficiente de cocción y calentamiento de agua, implementación de bombas de calor, automatización y control en habitaciones, sistemas inteligentes de climatización, aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica, así como estándares de construcción sostenible y certificaciones energéticas para nuevas infraestructuras turísticas. Estas medidas permiten reducir costos operativos, mejorar la competitividad del sector y fortalecer atributos de sostenibilidad en destinos turísticos.
- En el caso de centros comerciales y grandes superficies, se recomienda priorizar medidas asociadas a iluminación inteligente, climatización de alta eficiencia, sistemas de gestión energética centralizada, almacenamiento térmico, control de demanda y estrategias de flexibilidad energética. Asimismo, se recomienda promover esquemas de respuesta de demanda y gestión horaria del consumo que permitan reducir cargas en periodos de máxima demanda del sistema eléctrico, lo que implica el desarrollo del esquema normativo y regulatorio pertinente.
- De manera transversal, se recomienda fortalecer mecanismos de asistencia técnica, líneas de financiación verde con la banca privada para proyectos de modernización energética en estos subsectores, así como promover sistemas de monitoreo y submedición que permitan identificar oportunidades de mejora continua y verificar los resultados de ahorro energético y reducción de emisiones. Para esta estrategia vale la pena la inclusión de actores clave, como los comercializadores, distribuidores, asociaciones e incluso constructores, de tal manera que se diseñen programas de mayor alcance.
- La transición hacia edificaciones energéticamente eficientes y bajas en carbono requiere una estrategia integral que combine innovación tecnológica, medidas pasivas de construcción, digitalización, electrificación de usos finales y fortalecimiento de las capacidades de gestión energética. Los resultados del análisis beneficio/costo

muestran que no todas las medidas presentan los mismos incentivos para su adopción, por lo que es necesario diseñar instrumentos diferenciados que permitan capturar los beneficios energéticos, económicos y ambientales identificados.

- Los resultados del análisis beneficio/costo evidencian que la maximización de los beneficios sectoriales requiere combinar medidas de rápida recuperación económica con acciones estructurales de largo plazo orientadas a la electrificación, digitalización y sostenibilidad de las edificaciones. Esta combinación permitirá capturar el potencial estimado de ahorro energético de 286,29 PJ y la reducción de aproximadamente 17,04 millones de toneladas de CO₂ equivalente, contribuyendo de manera significativa al cumplimiento de las metas nacionales de eficiencia energética, transición energética y carbono neutralidad
- El análisis B/C también muestra una sensibilidad alta al efectos en el esquema de subsidios, para este sector el valor asociado a la contribución es clave a la hora de evaluar los impactos sociales y del usuario, en este sentido, cambios en el esquema de Fondo de Solidaridad y Redistribución del Ingreso, podrían impactar en decisiones económicas del sector.
- Se recomienda fortalecer los instrumentos de seguimiento, monitoreo y evaluación de las medidas implementadas mediante sistemas nacionales de información energética, indicadores sectoriales y mecanismos de verificación de resultados. La consolidación de información de consumo, desempeño energético y reducción de emisiones permitirá mejorar la focalización de políticas públicas, optimizar la asignación de recursos y acelerar el cumplimiento de las metas nacionales de transición energética, eficiencia energética y carbono neutralidad.

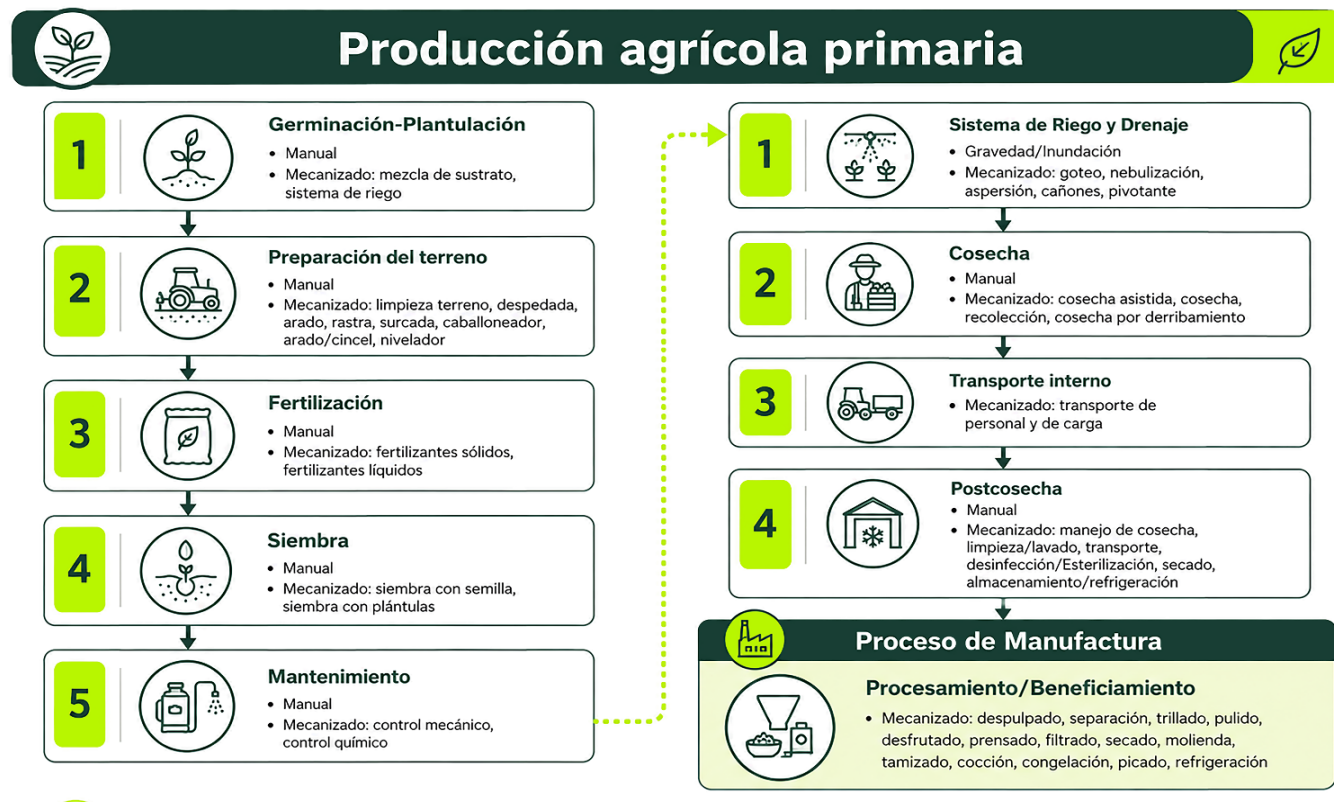
8 ANÁLISIS SECTOR AGROPECUARIO

8.1 Línea base de consumo energético sector agropecuario

En 2023, la UPME contrató el estudio de “Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial, identificando los principales usos, equipos o tecnologías y energéticos; como insumo para la formulación de las estrategias y medidas de eficiencia energética” (UPME-CORPOEMA, 2024) con el fin de estimar los consumos energéticos del sector APAI, desagregando el análisis por subsectores, pisos térmicos, usos, equipos o tecnologías, tipo de energéticos y prácticas de operación, a partir de información primaria y secundaria. Esta caracterización del consumo final de energía se realizó teniendo en cuenta los subsectores y la clasificación CIIU determinada por el DANE, según la cual los procesos productivos agropecuarios, forestales y piscícolas están contemplados en las divisiones 01, 02 y 03, particularmente de la sección A (Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca) (UPME-CORPOEMA, 2025).

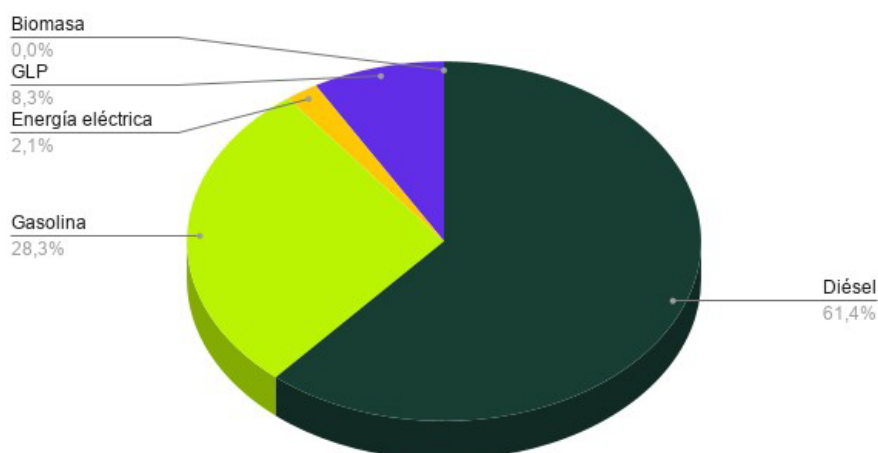
Dada la heterogeneidad de los procesos que consumen energía según el nivel de actividad y la tecnología utilizada para la obtención de alimentos, forraje, fibra y otras materias primas previas a la transformación, estos incorporan numerosos equipos y procesos mecanizados. Muchos de ellos presentan características operativas similares entre distintos cultivos, independientemente del producto final. Por ello, con el fin de realizar una caracterización energética más eficiente y sistemática, los procesos productivos se agruparon en conjuntos homogéneos, clasificados según similitudes en actividades, procedimientos mecanizados y patrones de consumo energético asociados a la obtención de un producto final, entendido como insumo de un proceso posterior de manufactura. Además, se analizaron casos particulares como café y palma de aceite, que incluyen procesos adicionales realizados en la misma UPA, en el sector de silvicultura y actividades forestales, aunque existen similitudes con la agricultura, se presentan diferencias relevantes en la periodicidad de los cultivos y en los equipos utilizados. En el sector pesquero se integraron la pesca y la acuicultura en una sola cadena productiva, diferenciando entre pesca marítima y de aguas continentales, e iniciando el análisis desde el proceso de pesca o cosecha.

Figura 39. Alcance de subsectores analizados para el sector APAI



Fuente: Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial, identificando los principales usos, equipos o tecnologías y energéticos; como insumo para la formulación de las estrategias y medidas de eficiencia energética. 2023.

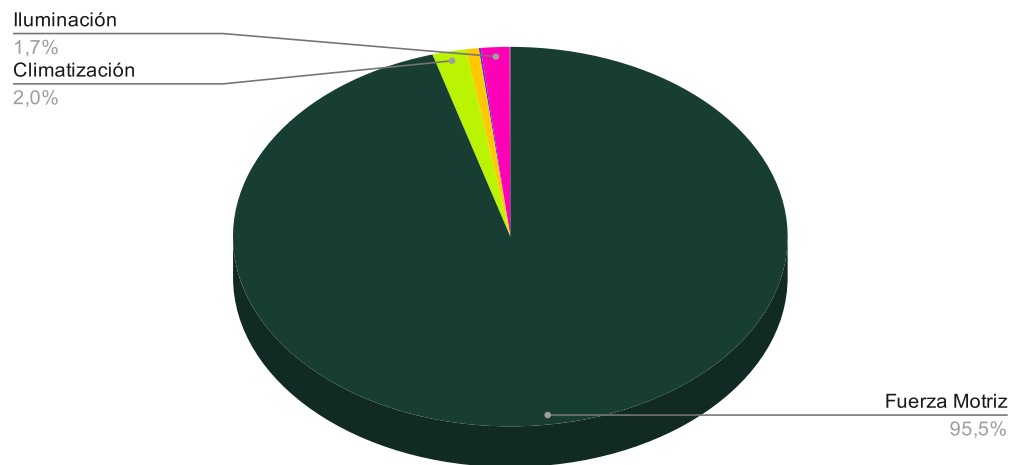
Figura 40. Balance de consumo sector agropecuario



Fuente: UPME a partir de BECO 2025, UPME-CORPOEMA Caracterización del sector terciario 2022, UPME-CORPOEMA 2025.

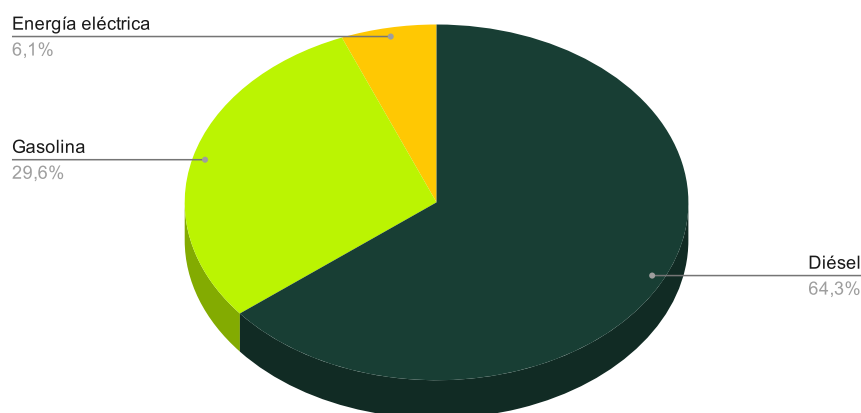
La distribución de usos de los energéticos en el sector muestra una mayor participación de combustibles líquidos, con el 61,4% de Diésel y 28,3% en gasolina, con lo que se alcanza el Pareto del sector, con proporciones menores en consumos de energía eléctrica, GLP y biomasa.

Figura 41. Distribución de consumo energético por uso sector agropecuario



Fuente: UPME a partir de BECO 2025, UPME-CORPOEMA Caracterización del sector terciario 2022, UPME-CORPOEMA 2025.

De estos resultados se observa que los principales usos finales de la energía se concentran especialmente en fuerza motriz (95,5%), climatización (2,06%) e iluminación (1,7%). En el caso de la fuerza motriz (95,5%), los equipos asociados identificados son: tractores, cosechadoras, bombas, guadañas, entre otros, en donde los energéticos descritos anteriormente, se requieren para alimentar un dispositivo o sistema mecánico y así generar movimiento y realizar un trabajo. Esta composición de usos del sector permite concentrar el análisis en los energéticos destinados a fuerza motriz, de los cuales el 64,3% corresponde a consumos en Diésel y el 29,6% a consumos de gasolina, mientras que la participación de la energía eléctrica resulta marginal.

Figura 42. Distribución de consumo por energético sector agropecuario – Fuerza motriz

Fuente: UPME a partir de BECO 2025, UPME-CORPOEMA Caracterización del sector terciario 2022, UPME-CORPOEMA 2025.

Entre los otros usos energéticos del sector, la climatización se asocia principalmente a actividades como la cría de cerdos, aves de corral y acuicultura, en las que se utilizan equipos de aire acondicionado, lámparas de calefacción y bombillas infrarrojas para favorecer las condiciones de crecimiento y producción.

Para el uso de calor directo (0,75%), este se relaciona con actividades de limpieza de material, mantenimiento y procesos de crianza y crecimiento de aves, utilizando equipos como estufas, sopletes, flameadores, incubadoras, lámparas de calefacción y bombillos. Por otra parte, el uso de equipos de refrigeración (0,11%), se identifica principalmente en actividades de grupos homogéneos del sector pecuario, especialmente en los procesos de refrigeración de leche y en el sector floricultor, mediante equipos como neveras, tanques de enfriamiento y cuartos fríos.

La caracterización energética del sector agropecuario permite concluir que el consumo energético del sector está fuertemente concentrado en combustibles líquidos, especialmente diésel (61,4%) y gasolina (28,3%), lo que evidencia una elevada dependencia de energéticos fósiles para el desarrollo de las actividades productivas rurales. Esta estructura de consumo tiene implicaciones directas sobre la seguridad energética, la exposición a la volatilidad de precios y el cumplimiento de metas de descarbonización del país.

Por otra parte, aunque el sector presenta una alta diversidad de subsectores, pisos térmicos y tipos de producción, la clasificación de procesos en grupos homogéneos demuestra que existen patrones de consumo energético similares entre distintos cultivos y actividades. Esta condición

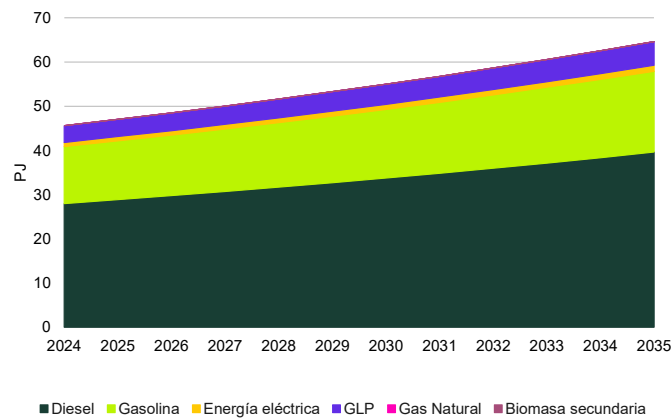
facilita el diseño de medidas transversales de eficiencia energética, estandarización tecnológica y programas sectoriales que puedan escalarse a nivel nacional. No obstante, algunos subsectores específicos como el cafetero y el de palma de aceite incorporan procesos adicionales dentro de la misma unidad productiva, así como actividades asociadas a la silvicultura y la pesca, tanto marítima como continental, presentan requerimientos energéticos particulares relacionados con la periodicidad de las actividades productivas, los equipos utilizados y las condiciones operativas. Estas características evidencian la necesidad de implementar estrategias diferenciadas de planeación y eficiencia energética, ajustadas a las condiciones técnicas y operativas propias de cada subsector.

En el estudio desarrollado por UPME-CORPOEMA, 2025 se propone establecer la línea base de consumo energético del sector agropecuario (APAI), mediante un ejercicio de modelación bajo dos escenarios de proyección: (i) un escenario basado en la evolución histórica de los volúmenes de producción de cada grupo homogéneo y (ii) un escenario sustentado en la tasa de crecimiento del PIB del sector APAI. Esta aproximación permite capturar tanto la dinámica productiva específica de los subsectores como su comportamiento macroeconómico agregado.

La aplicación del modelo muestra tendencias de crecimiento por grupo homogéneo, utilizando como referencia una línea base tomada de la Caracterización Energética 2023 (UPME-CORPOEMA, 2024), alcanzando un consumo total de 45,73 PJ en el 2024. Para los subsectores con información estadística robusta de producción. Los resultados, de las proyecciones evidencian una heterogeneidad significativa en las tasas de crecimiento, con incrementos moderados en actividades tradicionales de alta participación, como ganadería (2,41 %), café (2,02 %) y arroz mecanizado (4,07 %), y tasas elevadas en subsectores emergentes o de menor escala, como algodón (14,52 %), frutas con baja mecanización (9,49 %), acuicultura (8,02 %) y aguacate (7,91 %). Estas diferencias reflejan dinámicas productivas diferenciadas y tienen implicaciones directas sobre la evolución futura de la demanda energética del sector.

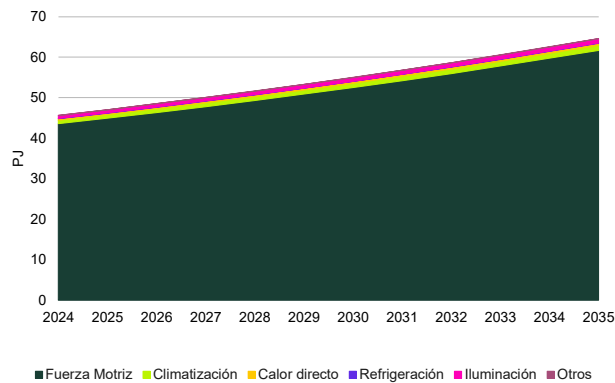
A partir de estas tasas de crecimiento, se construyó la proyección de la línea base de los consumos energéticos para la totalidad de los grupos homogéneos, constituyendo un insumo clave para la estimación de la demanda energética futura y para la formulación de estrategias de eficiencia y transición energéticas en el sector.

Figura 43. Proyección línea base por energético sector agropecuario



Fuente: UPME a partir de UPME-CORPOEMA (2024).

Figura 44. Proyección línea base por uso sector agropecuario



Fuente: UPME a partir de UPME-CORPOEMA (2024).

De acuerdo con las consideraciones de la proyección, el consumo del sector agropecuario podría ubicarse alrededor de los 64 PJ para el año 2035, de los cuales 61 PJ estarían asociados a consumos en fuerza motriz, manteniendo consumos mínimos en los otros usos. En cuanto a los energéticos, el mayor consumo corresponde a consumos de diésel con cerca de 39 PJ, gasolina con 18,26 PJ, GLP 5,37 PJ y 1,33 PJ de energía eléctrica.

8.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector agropecuario

La caracterización detallada del consumo final de energía por subsectores, usos, equipos y energéticos constituye un insumo clave para la formulación de estrategias nacionales de eficiencia energética, transición energética justa y desarrollo rural sostenible. En particular, permite diseñar programas de reconversión tecnológica, modernización productiva y esquemas de financiamiento hacia los procesos y actividades con mayor impacto energético y ambiental dentro del sector.

Este enfoque se articula con los objetivos establecidos en el CONPES 2149 de 2023, el cual plantea como parte de las políticas de reindustrialización, la promoción de cadenas productivas agrícolas como panela, maíz, lácteos, carne, papa, arroz, forestación, bioinsumos, entre otras y el fomento de la producción de bioinsumos y bioproductos para fertilizantes, alimentación y materiales (DNP, 2023).

En este sentido, la concentración casi absoluta del uso energético en fuerza motriz, con el 97,54 % del consumo final de energía del sector se destina a fuerza motriz, asociada principalmente al funcionamiento de maquinaria agrícola y pecuaria como tractores, cosechadoras, bombas y otros equipos mecanizados. Esta concentración del consumo en un solo uso final permite focalizar las estrategias de eficiencia energética, sustitución tecnológica y electrificación en un conjunto claramente identificado de equipos y procesos.

A partir de los estudios realizados, se identificó como una de las medidas con mayor potencial de ahorro energético el suministro de energía eléctrica para procesos del sector, mediante sistemas de generación de energía solar. Esta medida consiste en la sustitución de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias, tipificándose como una medida de sustitución de combustibles, con un potencial de ahorro teórico de hasta el 54% en consumos de diésel y del 63% en consumos de gasolina. No obstante, considerando las particularidades de las actividades productivas en Colombia, los retos de implementación y el nivel de madurez tecnológica (TRL) de los equipos involucrados, que en su mayoría corresponden a TRL superiores a 9, se estimó un porcentaje de ahorro alcanzable del 25% para consumos asociados a diésel y del 30% para consumos de gasolina.

Estos porcentajes de ahorro fueron aplicados al consumo energético de equipos estacionarios utilizados en diferentes actividades del sector agropecuario, como: i) cultivos agrícolas, en equipos empleados para riego y drenaje, fertilización y procesos de postcosecha ii) actividades pecuarias en equipos empleados para alimentación, crianza y crecimiento animal, enfriamiento de leche y ferti-riego iii) silvicultura y extracción de madera, en equipos de riego y drenaje y iv) acuicultura y pesca en equipos de almacenamiento, oxigenación, recirculación y procesos de postcosecha. La

implementación de esta medida permitiría alcanzar ahorros estimados de 57,75 PJ, equivalentes a una reducción de 3,82 MtCO₂eq en emisiones evitadas.

En buenas prácticas operacionales (BPO), se identifica una medida con un alto potencial de ahorro energético asociada a la promoción de programas de mantenimiento para los motores diésel utilizados por productores agropecuarios de diferentes escalas productivas, en actividades agrícolas, pecuarias, de silvicultura y extracción de madera, así como de acuicultura y pesca.

En cultivos agrícolas, la medida aplica a equipos como tractores y sus accesorios, guadañas, motosierras, volquetas, tractomulas, aguilonos, ahoyadores, bombas de agua, bombas de espalda, bombas estacionarias, camionetas, cuatrimotos, fumigadoras, guadañadora, motobombas y motocultores. En actividades pecuarias en equipos como bombas de ordeño, bombas estacionarias, motobombas, tractores y accesorios, plantas diésel, bombas de espalda, bombas de ordeño, bombas estacionarias, guadañas, hidrolavadoras, motobombas, picadoras. Para silvicultura y extracción de madera, se consideran equipos como brazos hidráulicos, sembradoras, tractores, guadañas y motosierras y en acuicultura y pesca la medida contempla motobombas, pesca con grúa, plantas diésel, tractores, guadañas y motores fuera de borda. La implementación de esta medida permitiría alcanzar ahorros estimados de 12,65 PJ y una reducción de 0,94 MtCO₂eq.

Finalmente, en materia de reconversión tecnológica, se plantea como medida de eficiencia energética el aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones de calor directo que utilizan como energético base GLP o energía eléctrica de la red o de sistemas aislados.

Esta medida presenta potencial de aplicación en grupos homogéneos de ganado, aves de corral y huevos, en procesos relacionados con mantenimiento de establos, alistamiento de galpones, mantenimiento de pollos, levante y desplume de pollos destinados a la producción de huevos, con potencial teórico de ahorro del 80% del consumo energético asociado a las actividades anteriormente mencionadas. Sin embargo, considerando la caracterización del sector APAI en Colombia, se estimó un potencial de ahorro aplicable del 50%. Con ello, la implementación de la medida permitiría alcanzar ahorros de 0,51 PJ y una reducción de 32 ktCO₂eq en emisiones evitadas.

Dentro de otras medidas de reconversión tecnológica del sector APAI, se plantea la Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos, mediante la incorporación de compresores con variador de velocidad, válvulas de expansión electrónica con sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización, aportando 0,16 PJ de ahorros adicionales.

En resumen, la participación marginal de la energía eléctrica en los usos de fuerza motriz evidencia un bajo nivel de electrificación productiva en el sector, lo que representa una oportunidad

significativa para promover la transición hacia tecnologías eléctricas más eficientes, como motores eléctricos, sistemas de bombeo electrificados y soluciones híbridas o de generación distribuida basada en energías renovables, especialmente en zonas con acceso limitado o intermitente a combustibles líquidos.

Tabla 15. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector agropecuario

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Aporte a las metas del sector	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Sustitución de combustibles - SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar (Diésel/gasolina en fuerza motriz)	41,80	58,7%	2,98
Sustitución de combustibles - SC	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI. (Diésel en fuerza motriz)	15,90	22,3%	1,18
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Implementar acciones asociadas a operar y mantener de forma eficiente los motores y así reducir el consumo de energía (Diésel en fuerza motriz)	12,65	17,8%	0,94
Reconversión tecnológica - RT	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI. (GLP calor directo/Energía eléctrica)	0,51	0,7%	0,003
Reconversión tecnológica - RT	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	0,16	0,2%	0,03
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI	0,09	0,1%	0,01
Sustitución de combustibles - SC	Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar (Gasolina en fuerza motriz) (Energía eléctrica en fuerza motriz)	0,05	0,1%	0,01

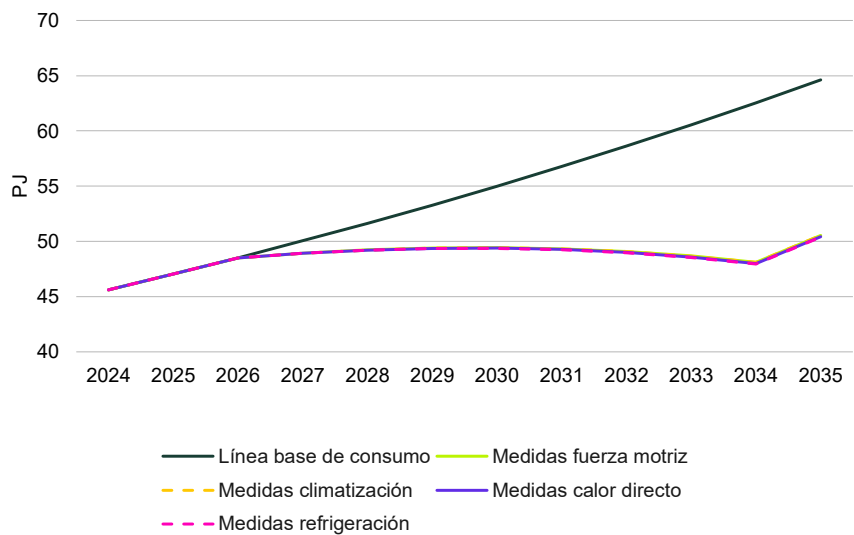
Fuente: Construcción propia con base en los estudios (UPME-CORPOEMA, 2025) (UPME-CORPOEMA, 2023).

A partir de la Tabla 15, una vez implementadas las medidas propuestas se obtendría un total de ahorro de 71,17 PJ acumulado entre los años 2026 y 2035, con un efecto en emisiones evitadas de 5,15 MtCO₂eq. De esta reducción el 73% se alcanza con la medida de reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias, así mismo medidas de mantenimiento de motores, aportaría 18% de ahorro sobre esta meta de ahorro.

Con estos resultados, la aplicación de las medidas de eficiencia energética permitiría que la demanda de energéticos para el 2035 logre reducir el consumo proyectado de 64,61 PJ a 50,39 PJ, con aproximadamente 28% de ahorro.

“
Con estos resultados, la aplicación de las medidas de eficiencia energética permitiría que la demanda de energéticos para el 2035 logre reducir el consumo proyectado de 64,61 PJ a 50,39 PJ, con aproximadamente 28% de ahorro
”

Figura 45. Proyección línea meta por uso sector agropecuario



Fuente: UPME a partir de UPME-CORPOEMA (2025), UPME-CORPOEMA (2023).

Tabla 16. Resumen de resultados sector agropecuario

Energéticas	71,17 PJ
Ambientales	5,15 MtCO₂eq.

Fuente: UPME.

8.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector agropecuario

El análisis beneficio-costos de las medidas priorizadas para el sector agropecuario evidencia una diferencia significativa entre los beneficios percibidos por los usuarios y aquellos que se generan para el sistema energético y la sociedad. Esta situación refleja las particularidades del sector, caracterizado por una alta dispersión geográfica, una elevada dependencia de combustibles líquidos y la presencia de barreras económicas y tecnológicas que limitan la adopción de soluciones más eficientes, aun cuando estas generan beneficios relevantes a nivel nacional.

Tabla 17. Análisis B/C sector agropecuario

Medida	B/C Usuario	B/C Sistema	B/C Sociedad
Suministro de energía eléctrica para procesos del sector APAI, a partir de energía solar (Diésel/gasolina en fuerza motriz)	0,06	41,74	0,24
Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI. (Diésel en fuerza motriz)	0,04	39,85	3,13
Implementar acciones asociadas a operar y mantener de forma eficiente los motores y así reducir el consumo de energía (Diésel en fuerza motriz)	0,13	0,54	-
Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI. (GLP calor directo/Energía eléctrica)	0,06	0,09	144,83
Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	0,21	1,36	171,11
Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI	0,06	4,37	0,43

Fuente: UPME.

Desde la perspectiva del usuario, ninguna de las medidas evaluadas presenta relaciones beneficio-costos superiores a uno. Los mejores resultados corresponden a la implementación de unidades condensadoras eficientes en cuartos fríos (0,21) y a las acciones de operación y mantenimiento eficiente de motores (0,13). Aunque estas medidas generan ahorros energéticos, los costos iniciales de inversión, las dificultades de acceso a financiamiento y los

tiempos de recuperación limitan su atractivo económico para los productores agropecuarios. Este resultado evidencia la necesidad de fortalecer mecanismos de apoyo financiero, instrumentos de política pública y programas de asistencia técnica que permitan acelerar la adopción de tecnologías eficientes en el sector.

Desde la perspectiva del sistema energético, los resultados son sustancialmente más favorables. Se destacan especialmente las medidas asociadas al suministro de energía eléctrica para procesos productivos mediante sistemas solares (41,74) y el reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias (39,85). Estas medidas generan importantes beneficios derivados de la reducción del consumo de combustibles fósiles, la disminución de la dependencia energética, la reducción de pérdidas asociadas a la cadena de suministro de combustibles y una mayor eficiencia en el uso de la energía. Asimismo, la implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización (4,37) y la modernización de sistemas de refrigeración (1,36) presentan beneficios positivos para el sistema, aunque con impactos energéticos más localizados.

Desde la perspectiva social, los mayores beneficios se observan en las medidas de reconversión tecnológica asociadas a procesos térmicos y de refrigeración. La implementación de unidades condensadoras eficientes en cuartos fríos alcanza una relación beneficio-costos de 171,11, mientras que el aprovechamiento de energía solar para aplicaciones de calor directo presenta un indicador de 144,83. Estos resultados reflejan los importantes beneficios asociados a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de contaminantes locales, el fortalecimiento de la seguridad energética rural y la mejora de la productividad de las actividades agropecuarias. De igual manera, el reemplazo de motores de combustión por motores eléctricos presenta una relación beneficio-costos social de 3,13, consolidándose como una de las medidas con mayor potencial transformador para el sector.

Los resultados preliminares, permiten identificar que la electrificación de la fuerza motriz constituye la principal oportunidad de transformación energética del sector agropecuario. Esta medida no solo aporta el mayor potencial de ahorro energético y reducción de emisiones, sino que además genera beneficios significativos para el sistema energético y la sociedad. Sin embargo, los bajos indicadores beneficio-costos desde la perspectiva del usuario evidencian que su implementación difícilmente ocurrirá de manera espontánea, por lo que requiere instrumentos específicos de política pública orientados a facilitar el acceso a financiamiento, promover esquemas de renovación tecnológica y reducir los costos de adopción.

De manera complementaria, las soluciones basadas en energía solar para aplicaciones productivas rurales presentan beneficios sistémicos y sociales particularmente elevados. Estas tecnologías contribuyen a reducir la dependencia de combustibles fósiles, mejorar la resiliencia energética de las actividades agropecuarias y ampliar el acceso a servicios energéticos modernos en zonas rurales. En consecuencia, su promoción resulta coherente con los objetivos nacionales de transición energética, desarrollo rural sostenible y descarbonización de la economía.

En conjunto, el análisis beneficio-costos confirma que las medidas con mayor impacto para el sector agropecuario corresponden a aquellas orientadas a la electrificación de procesos productivos, la incorporación de energías renovables y la modernización tecnológica de equipos. No obstante, las diferencias observadas entre los beneficios privados y los beneficios sociales evidencian la necesidad de implementar instrumentos de política, financieros y de acompañamiento técnico que permitan internalizar los beneficios colectivos de largo plazo y acelerar la transformación energética del sector. Estas acciones contribuirán a materializar el potencial estimado de ahorro energético de 71,17 PJ y la reducción de aproximadamente 5,15 millones de toneladas de CO₂ equivalente durante el horizonte de análisis.

8.4 Conclusiones y recomendaciones sector agropecuario

- La estructura de consumo energético del sector agropecuario colombiano evidencia una alta dependencia de diésel y gasolina, los cuales representan cerca del 90 % del consumo final de energía y abastecen principalmente los usos asociados a fuerza motriz. Esta condición genera oportunidades significativas para avanzar en procesos de eficiencia energética, electrificación y descarbonización, orientados a mejorar la productividad, reducir los costos operativos y fortalecer la sostenibilidad de las actividades rurales.
- En este contexto, se recomienda priorizar la electrificación progresiva de los procesos productivos asociados a fuerza motriz, especialmente en aplicaciones estacionarias como sistemas de bombeo para riego y drenaje, equipos de fertirriego, sistemas de alimentación animal, procesos de acuicultura, enfriamiento de leche y actividades de postcosecha. Los resultados del análisis energético muestran que esta medida concentra el mayor potencial de ahorro energético y reducción de emisiones del sector, al tiempo que genera importantes beneficios para el sistema energético, contribuyendo a disminuir la dependencia de combustibles fósiles en las zonas rurales.

- Para facilitar esta transición, resulta fundamental fortalecer programas de financiamiento orientados a la renovación tecnológica de maquinaria y equipos agropecuarios, promoviendo el acceso a motores eléctricos de alta eficiencia, sistemas de bombeo eficientes y tecnologías de automatización. De manera complementaria, se recomienda diseñar instrumentos financieros específicos para pequeños y medianos productores, quienes enfrentan mayores barreras de acceso al crédito y dificultades para realizar inversiones iniciales en tecnologías eficientes.
- Se recomienda impulsar la integración de sistemas solares fotovoltaicos locales para el suministro de energía en procesos productivos rurales. Esta medida adquiere especial relevancia en zonas apartadas o con limitaciones en el acceso a combustibles y a la infraestructura energética convencional. La generación distribuida mediante energía solar puede contribuir a mejorar la seguridad energética de las explotaciones agropecuarias, reducir la exposición a la volatilidad de los precios de los combustibles y aumentar la competitividad de las cadenas productivas rurales.
- Los resultados del análisis beneficio-coste, evidencian que, aunque las inversiones en electrificación y energías renovables presentan retornos privados limitados, generan beneficios significativos para el sistema energético y la sociedad. En consecuencia, se recomienda fortalecer los mecanismos de política pública existente, incluyendo líneas de crédito verde, programas de cofinanciación, incentivos tributarios y esquemas de apoyo a la adopción tecnológica que permitan internalizar los beneficios ambientales y sociales derivados de estas inversiones.
- De igual manera, se recomienda consolidar programas nacionales de buenas prácticas operacionales y mantenimiento eficiente de motores y maquinaria agrícola. Estas acciones representan una de las alternativas de implementación más rápida y de menor complejidad técnica, permitiendo generar ahorros energéticos relevantes mediante mejoras en la operación de tractores, motobombas, equipos de fumigación, sistemas de ordeño, motores fuera de borda y demás equipos utilizados en las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras. La capacitación técnica, la asistencia rural especializada y la promoción de planes de mantenimiento preventivo constituyen herramientas fundamentales para alcanzar estos objetivos.
- En materia de reconversión tecnológica, se recomienda promover la adopción de calentadores solares para aplicaciones de calor directo en actividades pecuarias y avícolas, así como la modernización de sistemas de refrigeración mediante unidades

condensadoras de alta eficiencia, variadores de velocidad y sistemas inteligentes de control. Aunque estos usos representan una participación relativamente baja dentro del consumo total del sector, presentan beneficios sociales y ambientales significativos, especialmente en términos de reducción de emisiones y mejora de la eficiencia operativa de los procesos productivos.

- Adicionalmente, se recomienda el diseño de programas interinstitucionales, con entidades clave como Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Minas y Energía, así como el SENA y universidades del país; que incorporen de manera integral componentes específicos de eficiencia energética, gestión de la energía y transición energética rural. La generación de capacidades técnicas en productores, asociaciones, cooperativas y entidades territoriales permitirá acelerar la adopción de nuevas tecnologías y garantizar la sostenibilidad de las inversiones realizadas.
- Considerando la heterogeneidad productiva del sector, también resulta conveniente diseñar estrategias diferenciadas para los distintos grupos homogéneos identificados en la caracterización energética. Sectores como la ganadería, el café, el arroz mecanizado, la acuicultura, la silvicultura y los cultivos permanentes presentan dinámicas operativas y requerimientos energéticos particulares que demandan soluciones adaptadas a sus condiciones productivas y territoriales.
- Finalmente, se recomienda fortalecer los sistemas de información y monitoreo energético del sector agropecuario mediante mecanismos de recopilación periódica de información sobre consumos, tecnologías y prácticas operativas. La disponibilidad de información actualizada permitirá evaluar el avance de las metas sectoriales, ajustar las estrategias implementadas y orientar de manera más eficiente los recursos públicos destinados a la promoción de la eficiencia energética.
- La implementación articulada de estas recomendaciones permitirá materializar el potencial de ahorro energético estimado de 71,17 PJ y la reducción acumulada de aproximadamente 5,15 MCO₂ equivalente al año 2035, contribuyendo simultáneamente al incremento de la productividad agropecuaria, al fortalecimiento de la competitividad rural y al cumplimiento de los objetivos nacionales de transición energética, seguridad energética y descarbonización de la economía.

9 ANÁLISIS SECTOR HIDROCARBUROS

9.1 Línea base de consumo energético sector hidrocarburos

El panorama de la producción nacional de hidrocarburos muestra un comportamiento decreciente en el periodo 2019-2024. En 2019 se produjeron 323,3 millones de barriles de petróleo, cifra que para 2024 registró una reducción del 12,5%. En 2024, Ecopetrol lideró la producción de petróleo con una participación de 60,1% sobre el total, seguido por Geopark (6,6%) y Frontera Energy (6,3%).

En el caso del gas natural, la tendencia es similar. La producción pasó de 786.669,2 MPC a 522.612,7 MPC lo que representa una reducción del 33,6%. Ecopetrol mantiene el liderazgo en la producción (70,1%), seguido por Hocol (10,1%) y CNE Oil & Gas (7,3%). En términos agregados, la suma de crudo y gas alcanzó un volumen de 378 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP) en 2024.

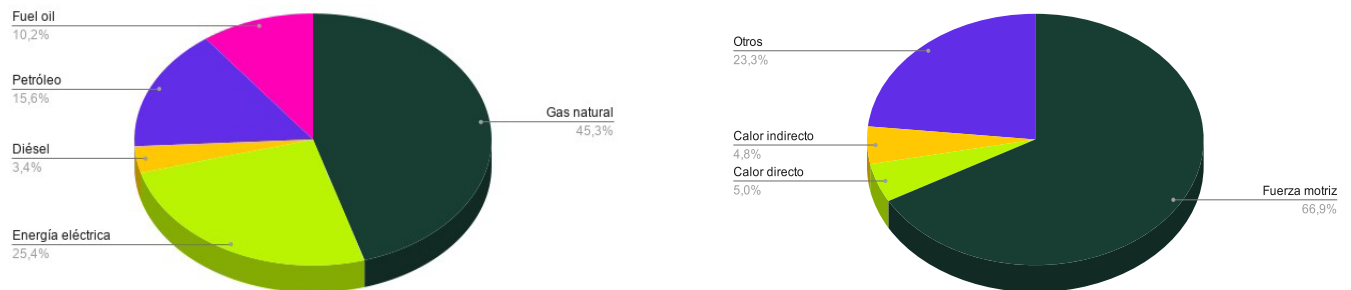
De acuerdo con los Informes históricos de Desempeño Ambiental de la Asociación Colombiana del Petróleo y Gas (ACP), la etapa de producción (*upstream*) representa aproximadamente el 95% del consumo energético total del sector. Esto, debido al requerimiento energético de los procesos de levantamiento artificial, calor directo e indirecto, bombeo, compresión, separación y tratamiento de fluidos, mientras el transporte de hidrocarburos, que incluye principalmente la operación de oleoductos y gasoductos, concentra cerca del 5% del consumo energético, asociado principalmente a estaciones de bombeo y compresión; las actividades de sísmica y perforación tienen una participación mínima. Se destaca que el análisis del sector hidrocarburos se centra en el *upstream* y *midstream*. El *downstream*, por su clasificación CIIU, sus características operativas y de consumo, metodológicamente se aborda dentro de la industria manufacturera.

En términos generales, la estructura energética del sector se caracteriza por una alta dependencia de combustibles gaseosos y líquidos asociados a los propios procesos productivos. El gas natural constituye el principal energético utilizado en las operaciones, con una participación aproximada del 45% del consumo total, debido principalmente a su uso como combustible en procesos térmicos, generación de energía en sitio y operación de compresores. Le sigue la energía eléctrica proveniente del SIN, con una participación cercana al 25%, utilizada principalmente en sistemas de bombeo, compresión y equipos auxiliares de proceso.

Otros energéticos relevantes incluyen el crudo utilizado como combustible interno, con una participación cercana al 16%, el fuel oil con aproximadamente 10%, y el diésel, que representa alrededor del 4% del consumo energético total. Estos energéticos se emplean principalmente en equipos térmicos, generación local de energía eléctrica y respaldo operativo en instalaciones que no cuentan con conexión directa al SIN.

Durante los últimos años también se observa una creciente relevancia de la autogeneración de energía en campo, especialmente en instalaciones de producción remotas o en zonas con restricciones de conexión eléctrica. Esta tendencia responde tanto a la necesidad de mejorar la confiabilidad operativa como a estrategias de optimización energética y reducción de pérdidas.

Figura 46. Balance de consumo sector hidrocarburos



Fuente: ACP, ANH, ECP, UPME.

La distribución del consumo energético por usos en este sector evidencia una alta concentración en fuerza motriz, que representa aproximadamente el 67% del consumo energético total. Este resultado refleja la naturaleza intensiva en procesos mecánicos del sector, asociados principalmente a sistemas de bombeo y compresión utilizados en las etapas de producción y transporte de hidrocarburos. Por su parte, los usos térmicos presentan una menor participación, con cerca del 5% correspondiente a calor directo y 5% a calor indirecto, vinculados principalmente a procesos de calentamiento de fluidos, tratamiento de crudo y operaciones de separación. Finalmente, la categoría de otros usos agrupa principalmente la energía destinada a la generación o autogeneración para consumo propio dentro de las operaciones, incluyendo sistemas de generación eléctrica in situ que soportan la operación de los activos.

Esta desagregación de los usos finales de energía constituye un avance frente a ejercicios anteriores, aportando un mayor nivel de detalle requerido para la actualización del PAI

PROURE. Al desagregar el consumo energético por uso, es posible identificar con mayor precisión aquellos más intensivos y, por tanto, con mayor potencial para la implementación de medidas de eficiencia energética en el marco del PROURE.

La digitalización se ha consolidado como un habilitador clave para la optimización de las operaciones, mediante la implementación de soluciones de submedición avanzada y control de procesos que integran medidores, sensores, sistemas SCADA/DCS y plataformas de análisis de datos, apoyadas en tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), analítica de datos, inteligencia artificial y aprendizaje automático. La integración de estas herramientas permite fortalecer el control operacional a lo largo de la cadena de valor (upstream, midstream y downstream) y optimizar el desempeño energético mediante la aplicación de analítica avanzada, facilitando la generación de recomendaciones, la detección temprana de fallas y la toma de decisiones oportunas.

De forma complementaria, el sector ha avanzado en su proceso de descarbonización mediante la implementación de estrategias que, a su vez, fortalecen la eficiencia energética. Acciones como la reducción de emisiones fugitivas, la eliminación de venteos y quemas rutinarias, la electrificación de operaciones y la adopción de tecnologías más eficientes han permitido optimizar el uso de la energía y disminuir la huella de carbono. La eficiencia energética se posiciona como un componente fundamental de la descarbonización, contribuyendo simultáneamente a la sostenibilidad y competitividad del sector.

En conjunto, la evolución reciente del sector evidencia una transformación progresiva orientada a mejorar su desempeño energético, mediante la incorporación de nuevas tecnologías, la optimización de procesos y la adopción de buenas prácticas operativas. Esta transformación reconoce la realidad operativa de la industria de hidrocarburos, caracterizada por operaciones intensivas en energía, ubicadas en entornos geográficos diversos y sujetas a estrictos requisitos de seguridad, confiabilidad y continuidad operacional, así como el rol actual del sector en el sistema energético y las oportunidades de mejora en eficiencia energética, reducción de emisiones y modernización tecnológica a lo largo de la cadena de valor.

Para la proyección del consumo de energía del sector, se utilizaron indicadores de consumo por actividad, los cuales evolucionan en función de los escenarios de producción de petróleo y gas definidos en el Plan de Abastecimiento de Gas Natural 2023–2038 (PAGN) y en el Plan Indicativo de Abastecimiento de Combustibles Líquidos (PIACL). En el caso de las estaciones compresoras del Sistema Nacional de Transporte de gas, se consideraron adicionalmente las proyecciones de demanda.

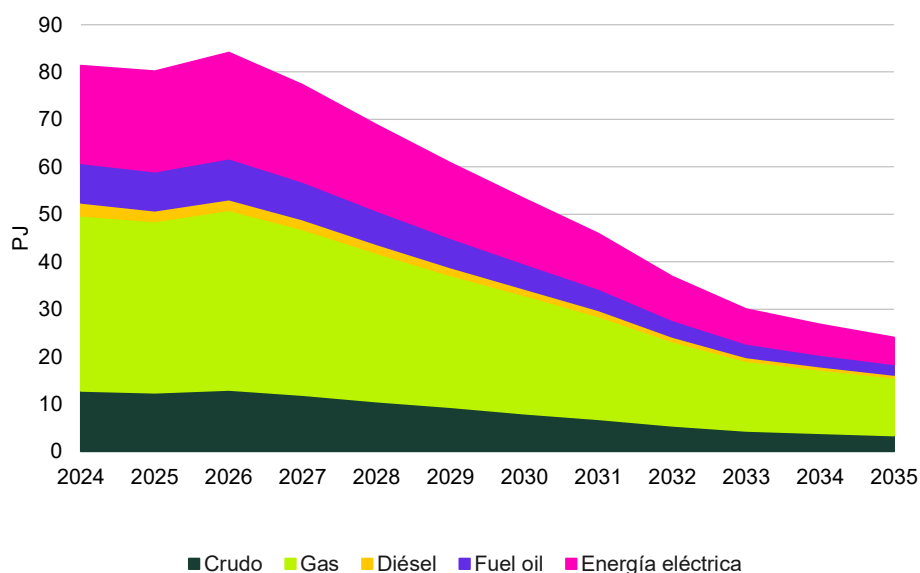
En el caso de la oferta de gas natural, se tomó como referencia el potencial de producción nacional correspondiente al Escenario 2, considerando el análisis de balance oferta–demanda desarrollada en el Plan y la complejidad asociada a la incorporación de reservas en otros escenarios. En el caso del petróleo, el consumo se estimó con base en un escenario medio de producción, que contempla la incorporación de reservas con mayor nivel de incertidumbre. Este escenario parte del volumen de reservas probadas (P1) y asume la incorporación del 100 % de las reservas probables (P2), para un volumen total estimado de 2.576,9 Mbl.

De acuerdo con el documento de proyecciones de demanda de gas natural 2028–2038, la demanda media de las estaciones compresoras del sistema de transporte se estimó a partir del promedio de los últimos tres años del consumo de gas natural en cada nodo del sistema. Este valor se emplea como insumo para la construcción de la línea base de consumo energético de la oferta de hidrocarburos, junto con los demás energéticos utilizados en la operación.

Como elemento diferencial de esta actualización del PAI PROURE, se incorporó una aproximación a la desagregación de los usos finales de la energía en el sector, a partir de la consolidación y análisis de información sectorial proveniente de fuentes estadísticas y reportes técnicos de empresas del sector. Como punto de partida, se identificaron los principales operadores cuya producción representa la mayor proporción de la producción nacional de crudo, con base en los reportes estadísticos publicados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos. Posteriormente, se revisaron fuentes de información relacionadas con el consumo de combustibles en las operaciones del sector, incluyendo inventarios de emisiones y reportes de sostenibilidad.

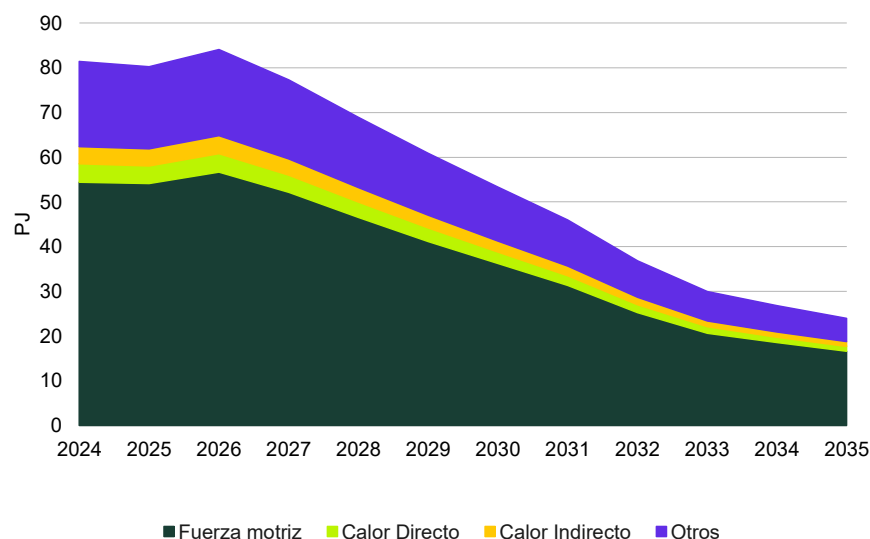
Con base en la información recopilada, los consumos energéticos fueron clasificados en cuatro categorías principales de uso: fuerza motriz, calor directo, calor indirecto y otros, permitiendo estimar su participación porcentual en el consumo energético sectorial y aportar un mayor nivel de detalle para la identificación de oportunidades de eficiencia energética.

A partir de los supuestos de producción, demanda y caracterización de usos finales, se elaboró la proyección de la línea base de consumo energético del sector hidrocarburos, desagregada por tipo de energético y por uso, presentada a continuación:

Figura 47. Proyección línea base por energético sector hidrocarburos

Fuente: UPME.

La proyección de la línea base de consumo energético del sector hidrocarburos evidencia una tendencia decreciente a lo largo del periodo de análisis, pasando de 81,40 PJ en 2024 a 23,98 PJ en 2035, lo que representa una reducción aproximada de 57,4 PJ, equivalente a cerca del 70% del consumo inicial. Esta disminución está asociada principalmente a los supuestos de reducción en la actividad productiva de petróleo y gas, así como a mejoras en la eficiencia energética de las operaciones ya previstas por los agentes. En términos de composición, el consumo continúa dominado por energéticos asociados a fuerza motriz, particularmente gas natural y energía eléctrica, mientras que los combustibles líquidos como diésel y fuel oil presentan una participación menor y decreciente en el tiempo. Por su parte, el consumo de crudo mantiene una participación relevante en los primeros años, pero con una reducción progresiva hacia el final del periodo.

Figura 48. Proyección línea base por uso sector hidrocarburos

Fuente: UPME.

Desde la perspectiva de los usos finales, la estructura del consumo energético se mantiene altamente concentrada en fuerza motriz a lo largo del periodo, en línea con la naturaleza operativa del sector. Este uso pasa de 54,41 PJ en 2024 a 16,64 PJ en 2035, manteniendo su predominancia dentro de la matriz energética. Los usos térmicos (calor directo e indirecto) conservan una participación menor y relativamente estable, con consumos que en conjunto disminuyen de aproximadamente 8,0 PJ a 2,15 PJ. Por su parte, la categoría de otros usos, que abarca la autogeneración de energía eléctrica para consumo propio, presenta una reducción progresiva, pasando de 18,99 PJ a 5,19 PJ al final del periodo.

9.2 línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector hidrocarburos

Las medidas de eficiencia energética para el sector hidrocarburos se enfocan en aquellas con mayor impacto en la reducción del consumo energético en las etapas de exploración y producción (upstream) y transporte, almacenamiento y procesamiento inicial (midstream), identificadas en el estudio “Unravelling the potential of energy efficiency in the Colombian oil industry”.

Con base en este referente, se desarrolló un análisis para estimar el impacto de cada medida y acción en el consumo energético, considerando de manera sistemática variables asociadas a la caracterización de la acción, aplicabilidad en el sector, potencial de ahorro y viabilidad de

implementación. Este enfoque permite integrar información técnica actualizada y parámetros representativos, asegurando una evaluación objetiva y comparable entre las distintas medidas analizadas.

Las medidas asociadas a la reconversión tecnológica se orientan a la optimización de procesos, el reemplazo de equipos por tecnologías de mayor eficiencia y el aprovechamiento energético de corrientes residuales. Este conjunto de acciones concentra uno de los mayores potenciales de ahorro del sector, con una contribución significativa en usos de fuerza motriz optimizando la intensidad energética de dichos procesos.

Este alto potencial está relacionado con las condiciones actuales de operación del sector, caracterizadas por una alta participación de esquemas de autogeneración con activos de varios años de operación y bajos niveles de eficiencia, y en muchos casos, operados mediante contratos tercerizados que priorizan la disponibilidad sobre el desempeño energético. La ausencia de indicadores de eficiencia en estos esquemas limita la implementación de mejoras operativas y tecnológicas, restringiendo la captura de ahorros energéticos significativos.

En este contexto, la reconversión tecnológica no solo representa una oportunidad de mejora técnica, sino también un frente estratégico para la incorporación de nuevos modelos contractuales y de gestión, tales como esquemas tipo ESCO, procesos de modernización de activos y la inclusión de indicadores de desempeño energético. Estas acciones contribuyen a la optimización del consumo energético en el sector hidrocarburos, al tiempo que facilitan la implementación de las medidas priorizadas y el cumplimiento de las metas definidas.

Las medidas asociadas a buenas prácticas operativas incluyen la implementación de sistemas de gestión de la energía, estrategias de digitalización, programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética y la gestión operativa de la eficiencia térmica, consolidándose como un complemento fundamental a las medidas de reconversión tecnológica.

El sector hidrocarburos ha avanzado de manera importante en la adopción de sistemas de control, automatización y gestión energética, posicionándose como uno de los líderes a nivel nacional en la incorporación de estas prácticas. No obstante, persisten retos asociados a la cobertura integral de activos y en la integración de la gestión energética como parte estructural de la operación.

En particular, la digitalización energética ha evolucionado más allá de la medición, incorporando capacidades de analítica avanzada, inteligencia artificial y herramientas de optimización que permiten transitar hacia esquemas predictivos y prescriptivos que impactan

en la eficiencia energética y la confiabilidad operativa. Sin embargo, en la actualidad, aunque existe una alta disponibilidad de datos obtenidos mediante los sistemas SCADA, su aprovechamiento sigue siendo limitado en niveles más avanzados de análisis y optimización de la operación.

Como resultado de este análisis, se estimó el potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones asociado a cada medida, basado en perfiles operativos representativos del sector. Con base en ello, la combinación de medidas de reconversión tecnológica y buenas prácticas operativas configura una ruta de eficiencia energética en el sector hidrocarburos, que sustenta la meta indicativa. A continuación, se presentan las medidas priorizadas que la componen.

Tabla 18. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector hidrocarburos

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistemas de gestión de la energía	14,07	23,03%	0,81
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	3,47	5,69%	0,20
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Gestión operativa de la eficiencia térmica	0,58	0,95%	0,04
Reconversión tecnológica - RT	Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	32,17	52,66%	1,88
Reconversión tecnológica - RT	Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	10,79	17,67%	0,66

Fuente: UPME.

Como resultado de la implementación de las medidas de eficiencia energética priorizadas, se estima un potencial de ahorro total de 61 PJ, resultado de la combinación de acciones de reconversión tecnológica y buenas prácticas operativas.

Del potencial total estimado, 43 PJ (70,3%) se concentran en medidas de reconversión tecnológica, impulsadas principalmente por la electrificación y el reemplazo de equipos por tecnologías eléctricas eficientes, la implementación de esquemas de bombeo dual, la centralización de sistemas de enfriamiento en sustitución de configuraciones individuales y la recuperación y aprovechamiento de energía para su uso en procesos internos. En complemento, 18 PJ (29,7%) se asocian a buenas prácticas operativas, particularmente a la

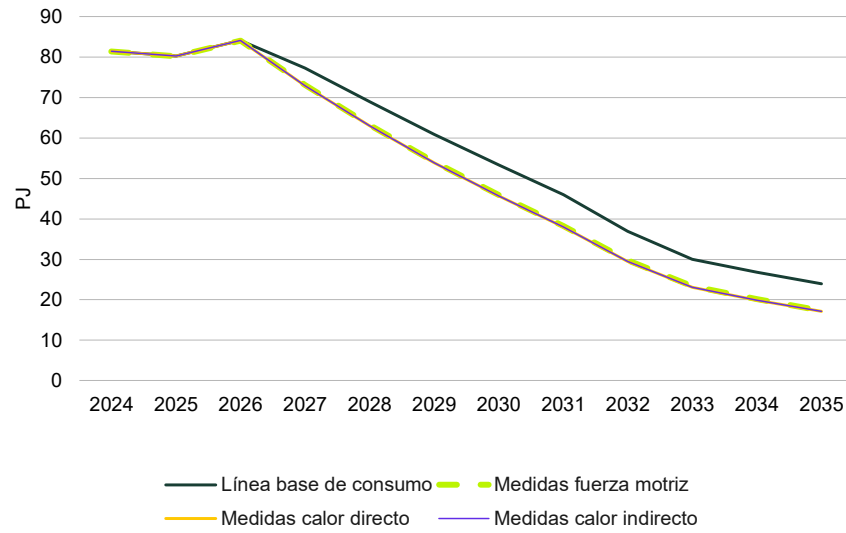
implementación de sistemas de gestión de la energía que incluye auditorías energéticas y esquemas de submedición, y a la digitalización y el control avanzado de procesos, mediante herramientas como submedición avanzada (IoT, analítica de datos e inteligencia artificial), gemelos analíticos y soluciones de control avanzado (APC).

La reducción de la demanda energética se explica principalmente por la disminución en el consumo de combustibles en los usos de mayor intensidad energética, particularmente en fuerza motriz, donde se concentra una parte relevante del potencial de ahorro. De manera complementaria, algunas medidas contribuyen a cambios en la matriz de consumo mediante la sustitución de energéticos, lo que refuerza el impacto en la intensidad en emisiones sectorial.

En este sentido, en el horizonte de análisis se estiman reducciones del orden de 15,8% en gas natural y 25,7% en energía eléctrica, mientras que en combustibles líquidos las disminuciones son más moderadas, cercanas al 2,9% en diésel y 2,3% en crudo, reflejando el impacto acumulado de las medidas de eficiencia energética sobre la estructura de consumo del sector.

En términos de impacto ambiental, estas medidas permiten una reducción estimada de emisiones de aproximadamente 3,59 MtCO₂eq, consolidando la eficiencia energética como un eje clave en la estrategia de descarbonización del sector hidrocarburos.

“ En términos de impacto ambiental, estas medidas permiten una reducción estimada de emisiones de aproximadamente 3,59 MtCO₂eq, consolidando la eficiencia energética como un eje clave en la estrategia de descarbonización del sector hidrocarburos ”

Figura 49. Proyección línea meta por uso sector hidrocarburos

Fuente: UPME.

Tabla 19. Resumen de resultados sector hidrocarburos, acumulado 2027-2035

Energéticas	• 61,08 PJ
Ambientales	• 3,59 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

9.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector hidrocarburos

Tabla 20. Análisis B/C sector hidrocarburos

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
BPO - Gestión operativa de la eficiencia térmica	8,64	0,57	1,60
BPO - Programas de operación y mantenimiento para EE	5,54	0,76	8,51
BPO - Sistemas de gestión de la energía	19,00	0,57	6,30
RT - Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	0,41	0,76	8,53
RT - Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	0,01	0,74	8,49

Fuente: UPME.

Los resultados para el sector hidrocarburos evidencian un comportamiento diferenciado entre las medidas asociadas a buenas prácticas operacionales y aquellas orientadas a procesos de reconversión tecnológica. En términos generales, todas las medidas generan beneficios sociales ampliamente superiores a la unidad, con relaciones beneficio-costos entre 1,60 y 8,53, lo que confirma que su implementación produce ganancias netas para la sociedad derivadas de una utilización más eficiente de los recursos energéticos, la reducción de emisiones y la disminución de externalidades ambientales asociadas a las actividades de producción y transformación de hidrocarburos. Sin embargo, la distribución de dichos beneficios entre los agentes privados y el sistema energético presenta diferencias importantes según el tipo de intervención evaluada.

Las medidas asociadas a buenas prácticas operacionales mantienen una elevada rentabilidad desde la perspectiva privada. La gestión operativa de la eficiencia térmica, los programas de operación y mantenimiento y los sistemas de gestión de la energía presentan relaciones beneficio-costos privadas de 8,64, 5,54 y 19,00 respectivamente, evidenciando que este tipo de actuaciones genera importantes reducciones de costos energéticos con inversiones relativamente bajas y períodos de recuperación favorables. Desde la perspectiva sistémica, estas medidas presentan relaciones beneficio-costos entre 0,57 y 0,76, mientras que sus beneficios sociales alcanzan valores entre 1,60 y 8,51. Estos resultados muestran que, además de fortalecer la competitividad y el desempeño energético de las empresas, las buenas prácticas operacionales generan beneficios ambientales y sociales significativos, consolidándose como una de las alternativas de mayor costo-efectividad para promover mejoras de eficiencia energética en el sector.

Un comportamiento diferente se observa en las medidas de reconversión tecnológica. Tanto la optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes como la recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos presentan relaciones beneficio-costos privadas inferiores a la unidad (0,41 y 0,01 respectivamente), mientras que sus relaciones beneficio-costos desde las perspectivas del sistema y la sociedad alcanzan valores entre 0,74 y 0,76 y superiores a 8,4 desde la perspectiva social. Este resultado evidencia una marcada divergencia entre la rentabilidad privada y los beneficios colectivos generados por estas intervenciones. Aunque las inversiones requeridas limitan su viabilidad económica para los agentes privados bajo las condiciones evaluadas, las ganancias derivadas de la reducción de emisiones, el mejor aprovechamiento de corrientes energéticas residuales, la recuperación de energía en procesos internos y la disminución de externalidades generan beneficios sociales ampliamente superiores a los costos de implementación. En este contexto, estas medidas constituyen un caso representativo donde instrumentos de política pública orientados a la promoción de la eficiencia energética, como

incentivos tributarios, mecanismos de financiación o programas de apoyo a la inversión, pueden contribuir a cerrar la brecha existente entre el beneficio privado y el beneficio social, facilitando la incorporación de tecnologías con alto impacto sobre la eficiencia energética y la descarbonización del sector hidrocarburos.

9.4 Conclusiones y recomendaciones sector hidrocarburos

- Se recomienda consolidar la implementación de medidas basadas en Buenas Prácticas Operativas (BPO), en particular las relacionadas con los sistemas de gestión de la energía y el control operacional. Estas medidas actúan como habilitadores para el fortalecimiento de las capacidades y análisis de la información disponible para respaldar la toma de decisiones.
- Se propone enfocar los esfuerzos en el desarrollo de guías técnicas sectoriales y programas de acompañamiento, que incluya asistencia técnica en campo, fortalecimiento de capacidades operativas y apoyo en la implementación de sistemas de gestión de la energía que permitan acelerar su implementación en campos de producción, sistemas de tratamiento y transporte, como parte de su operación habitual.
- Se recomienda adelantar evaluaciones integrales de los sistemas operativos empleados en el sector, con el fin de identificar oportunidades de reconfiguración tecnológica y optimización de las condiciones hidráulicas y de operación, a partir de la infraestructura y tecnologías instaladas. Soluciones como la implementación de bombeo dual evidencian el potencial para eliminar estaciones intermedias, reducir pérdidas y consumos energéticos, mejorar la flexibilidad y el desempeño energético del sistema.
- Resulta prioritario fortalecer la digitalización energética del sector mediante la integración de sistemas SCADA, submedición avanzada, analítica de datos, inteligencia artificial y herramientas de control avanzado de procesos (APC), permitiendo evolucionar hacia esquemas predictivos y prescriptivos que optimicen simultáneamente la eficiencia energética, la confiabilidad operativa y la reducción de emisiones.
- En particular, se recomienda acelerar la modernización de sistemas de bombeo, compresión y autogeneración mediante la sustitución de equipos por tecnologías de

mayor eficiencia, incorporación de variadores de velocidad y esquemas de electrificación progresiva de operaciones, especialmente en instalaciones con altos consumos energéticos y activos de baja eficiencia, considerando los insumos del presente Plan para evaluar la factibilidad de la inversión.

- De igual manera, se recomienda fortalecer programas orientados a la reducción de venteos, quema rutinaria y emisiones fugitivas, integrando medidas de eficiencia energética y electrificación como componentes estructurales de la estrategia de descarbonización del sector.
- Se recomienda fortalecer la información técnica del sector mediante estudios de caracterización energética que incluya análisis de costos, que permitan identificar brechas y potenciales de mejora en la cadena de valor. Este diagnóstico facilitará la priorización de soluciones de desempeño energético, la adopción de tecnologías avanzadas, viabilidad económica y la integración estratégica de la geotermia y otros vectores energéticos, buscando maximizar la eficiencia y apoyar la reducción de la intensidad energética de la actividad.
- Se recomienda la adopción de modelos innovadores de gestión y contratación, como los esquemas tipo Empresas de Servicios Energéticos, diseñados para superar barreras de inversión inicial y alinear los incentivos entre el operador y el prestador del servicio. En el sector de hidrocarburos, resulta conveniente complementar los modelos de tercerización basados en disponibilidad y confiabilidad operativa, con esquemas de riesgo compartido y pagos por desempeño, en los cuales la remuneración del tercero esté vinculada directamente a la obtención de ahorros energéticos verificables. Esto propicia que la eficiencia energética sea una responsabilidad técnica y financiera compartida, mitigando la pérdida de competitividad en activos críticos.
- En consecuencia, se recomienda orientar la transformación del sector hacia un modelo de operación inteligente y descarbonizada, basado en la digitalización de los activos, la electrificación de procesos y la incorporación de nuevos vectores energéticos, con el fin de maximizar la eficiencia energética y reducir de manera estructural la intensidad de carbono en la cadena de valor de hidrocarburos.

10 ANÁLISIS SECTOR MINERO

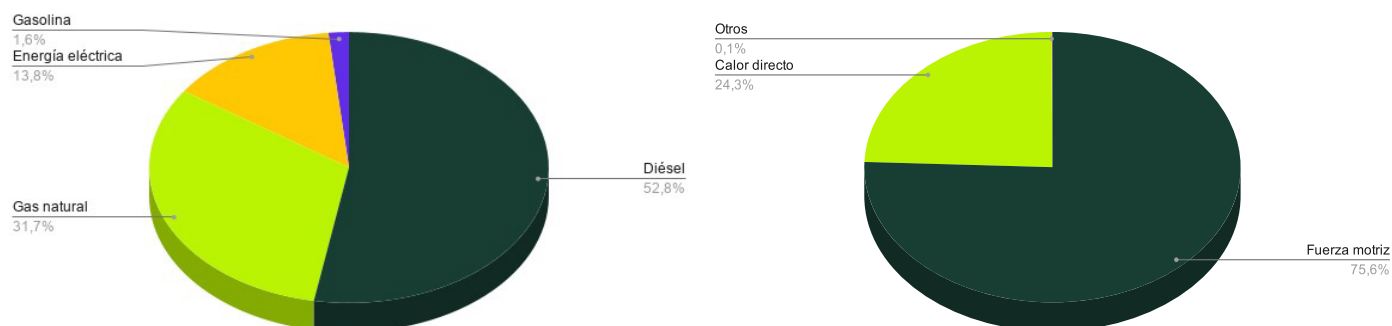
10.1 Línea base de consumo energético sector minero

En esta versión del PAI PROURE se analizó el consumo de energía asociado a la producción de minerales de los grupos CIU: extracción de carbón de piedra y lignito, y extracción de minerales metálicos. Para ello, se consolidó una línea base de consumo global a partir de los niveles de producción reportados por la Agencia Nacional de Minería (ANM) y el indicador de intensidad energética calculado por recurso energético. Este indicador se determinó mediante el cruce de fuentes de información de XM, DANE, Gestor del mercado de gas natural e informes de sostenibilidad de las empresas mineras, permitiendo estimar la evolución de la demanda sectorial en el periodo 2019-2024.

Respecto al carbón, la producción nacional durante el periodo 2019 - 2024 alcanzó sus niveles máximos en el año 2019, con una producción de 88,7 Mt. Tras la contracción presentada en el año 2020, esta actividad ha mostrado una tendencia de recuperación gradual en los años subsiguientes; sin embargo, a 2024 los niveles de producción (59,26 Mt) se sitúan muy por debajo de los observados prepandemia, debido principalmente a la disminución en la producción de carbón térmico. La producción se compone principalmente de carbón térmico (89,5%), seguido por el metalúrgico (10,52%) y antracita (0,01%), con una concentración de proyectos a cielo abierto de gran escala. El perfil energético de esta actividad se caracteriza por el uso intensivo de diésel en fuerza motriz asociada al transporte interno del carbón en las minas, y de gas natural para procesos de autogeneración.

En cuanto a los minerales metálicos, que incluyen minerales no ferrosos como el oro, la plata, cobre, níquel, entre otros, destaca el níquel por sus elevados niveles de consumo de energía eléctrica y gas, insumos críticos para sus procesos en la etapa de beneficio.

De manera agregada, la matriz de consumo de ambos grupos mineros está liderada por el diésel (27,2 PJ), seguido por gas natural (16,3 PJ) y energía eléctrica (7,1 PJ) (ver **Figura 50**).

Figura 50. Balance de consumo energético sector minero

Fuente: ANM, GMGN, DANE, Drummond, ESEI, NDC 3.0, XM.

El consumo energético en estas actividades varía según el proceso operativo. En la extracción de carbón, el uso predominante es la fuerza motriz, destinado principalmente a las flotas de camiones mineros y excavadoras, que operan con motores de combustión interna a diésel. Por su parte, en minerales metalíferos como el níquel, la energía se concentra en procesos de secado y calcinación (que consumen gas natural) y en procesos de fusión reductora y fuerza motriz (ventiladores, bombas y transporte) alimentados con energía eléctrica. En ambas actividades, la autogeneración mediante gas natural o diésel es un insumo crítico para garantizar la confiabilidad y continuidad en el suministro de energía eléctrica necesaria para la operación.

En conjunto, las actividades mineras analizadas presentan una distribución de consumo con alta participación de la fuerza motriz (76%), seguido por calor directo (24%). Menos del 1% de la energía se destina a iluminación, climatización y otros usos relacionados con el componente administrativo.

A partir de los proyectos certificados por la UPME en el marco de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014, el sector minero ha priorizado la implementación de medidas de optimización de procesos. Estas acciones se centran en la sustitución de combustibles en el transporte y acarreo de material en las minas y en la electrificación de la fuerza motriz. Esta tendencia materializa el objetivo general de sustituir el uso de combustibles fósiles por energía eléctrica en procesos críticos, contribuyendo a la reducción de la demanda primaria de energía.

Por otro lado, en línea con los escenarios globales de descarbonización, el PND plantea implementar mejores controles a la minería de gran escala, que permitan dar pasos hacia la

descarbonización y la transición energética justa (PND, 2023). En este sentido, la adopción de tecnologías de alta eficiencia no solo responde a objetivos climáticos, sino que se consolidan como el mecanismo principal para fortalecer la competitividad del sector, facilitando una transición que armoniza la productividad con la resiliencia energética en los territorios mineros. Esta dinámica no es aislada, responde a un entorno global en donde la volatilidad de los precios de los energéticos y las crecientes exigencias de los mercados internacionales frente a la huella de carbono de los minerales han redefinido la eficiencia energética como un factor de competitividad crítico.

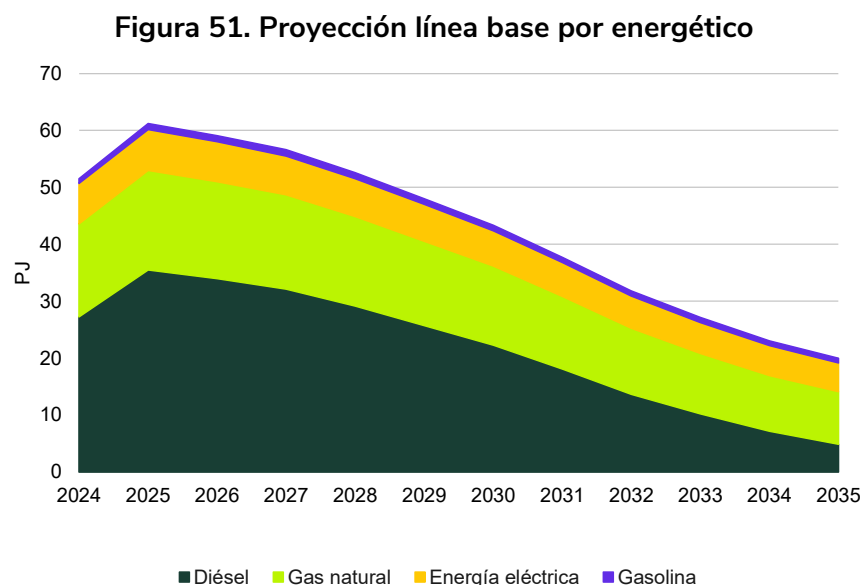
Bajo la visión de territorio, se integran también los Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva, como "un instrumento de planificación socioambiental, gestión y articulación institucional para alcanzar la sustentabilidad de las regiones donde se desarrollan operaciones y proyectos mineros, promover la asociatividad entre mineros y mineras de pequeña escala, así como la industrialización a partir de minerales estratégicos, el desarrollo de nuevas alternativas productivas, la reconversión laboral, de ser necesaria, la solución concertada de conflictos ocasionados por la minería, y generar condiciones para garantizar la soberanía alimentaria de las poblaciones" (Presidencia, 2024). Desde la perspectiva energética, los Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva (DMEDP) podrían dar paso a la interacción de las actividades extractiva con otro tipo de industrias, favoreciendo procesos de eficiencia energética extramurales (como infraestructura compartida o el aprovechamiento de calor residual - Distritos energéticos).

Finalmente, el despliegue de tecnologías digitales en el sector minero ha adquirido un papel estratégico para mejorar la eficiencia operativa en la minería, reducir costos de operación y mantenimiento, y mejorar las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores en la mina. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2017), las tecnologías digitales, el análisis de datos y la automatización se adoptarán cada vez más para mejorar la productividad y el desempeño ambiental a través de múltiples aplicaciones, habilitando una gestión proactiva de activos que reduce los tiempos de espera y optimiza los ciclos de carga.

Para la construcción de la línea base de consumo sectorial se tomó como referencia los consumos específicos históricos de cada actividad minera y el potencial de producción nacional de los minerales analizados. Esto, teniendo en cuenta la información de producción proyectada disponible, así como la información relacionada con los consumos en las etapas de extracción y beneficio de los minerales.

La oferta a largo plazo de estos minerales, proyectada por la Subdirección de Minería de la UPME, toma en cuenta la información histórica, así como variables sectoriales de precios internacionales, producción mundial, exportaciones, consumo energético, entre otras

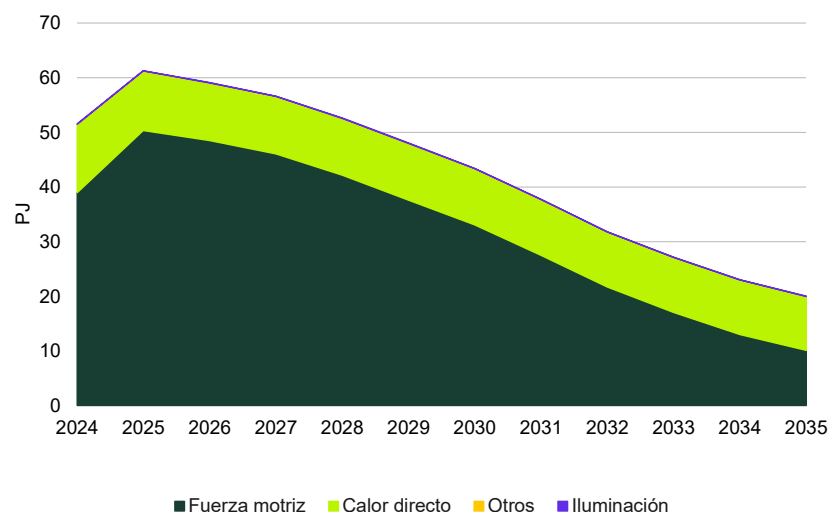
variables relevantes. Cada mineral cuenta con un escenario específico que refleja las dinámicas, tendencias, cambios regulatorios y transformaciones en la demanda global.



Fuente: UPME.

Dada la contracción de la demanda global de carbón térmico, alineada con los escenarios de transición energética y escenarios de precios menos competitivos para la actividad extractiva, se proyecta una tendencia descendente en la producción de carbón. En contraste, los minerales metalíferos, mantienen una tendencia de producción estable para el periodo de análisis.

Bajo este escenario de oferta, se prevé una reducción cercana al 11% en el consumo energético total para el periodo 2025-2035, situándose cerca de los 20 PJ para el año 2035. En esta proyección, el diésel presenta la mayor tasa interanual de descenso en el consumo (cercana al 18%), reflejando la menor actividad prevista en los frentes de extracción del carbón.

Figura 52. Proyección línea base por uso sector minero

Fuente: UPME.

Debido a la proyección descendente en la producción de carbón para el periodo 2026-2035, el uso de fuerza motriz, predominante en esta actividad, muestra una contracción en participación relativa. Se estima que para 2035 este uso alcanzará una participación de 50,3% de en el consumo energético total del sector minero, situándose en niveles similares a la participación de calor directo. Esto refleja un cambio en la composición de la matriz energética sectorial.

10.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector minero

El análisis de las medidas de eficiencia energética para el sector minero se estructuró según el tipo de mineral y la naturaleza de sus procesos productivos. Para ello, se integraron como referentes técnicos la *Estrategia de desarrollo bajo en carbono*, *análisis de riesgo climático*, y *portafolio de medidas de adaptación para los subsectores mineros de ferroníquel y materiales de construcción*, desarrollada por Como Consult para GLZ, y el *programa de Eficiencia Energética en Minería de Chile*, referente regional en la implementación de medidas de eficiencia energética en la actividad minera, con factibilidad de implementación global.

A partir de estos insumos, se estimó el impacto de cada medida y acción mediante una matriz que evalúa su aplicabilidad, potencial de ahorro y viabilidad de implementación. Este enfoque

metodológico permitió consolidar información técnica actualizada y establecer una base de referencia que compensa la ausencia de información operativa local, mediante experiencias exitosas en contextos mineros similares.

Las medidas de Buenas Prácticas Operacionales (BPO) identificadas incluyen la implementación de sistemas de gestión de la energía, submedición, estrategias de digitalización y control avanzado de procesos, y programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia motriz y térmica. Este conjunto de acciones concentra el mayor potencial de ahorro del sector, con una contribución predominante en usos de fuerza motriz y un impacto complementario en calor directo.

Aunque el sector minero ha mostrado algunos avances en la implementación de sistemas de control avanzado de procesos, a través de tecnologías de automatización y de gestión de la operación, persiste el reto de integrar la gestión energética como parte estructural de los procesos productivos, especialmente en la pequeña y mediana minería. En este escenario, la digitalización se presenta como una oportunidad para las diferentes actividades y escalas mineras, ya que la analítica avanzada, la inteligencia artificial y las herramientas de optimización permiten transitar de una operación reactiva hacia esquemas predictivos y prescriptivos, que maximizan simultáneamente la eficiencia energética, la productividad y la confiabilidad de los activos.

Las medidas asociadas a la reconversión tecnológica se orientan a la optimización de procesos, la electrificación y reemplazo de equipos por tecnologías de mayor eficiencia, y el aprovechamiento térmico de corrientes residuales. En esta categoría destacan la incorporación de variadores, motores y bombas eléctricas de alto rendimiento a la operación, así como el uso de bandas transportadoras como sustituto de transporte vehicular y las configuraciones técnicas que optimizan su operación en la mina.

Por su parte, las medidas de sustitución de combustibles se centran en el segmento de transporte y acarreo de minerales dentro de la mina, mediante la integración estratégica de vehículos mineros y maquinaria amarilla de propulsión eléctrica. Esta medida busca desplazar progresivamente el consumo de diésel en donde la electrificación presente mayor viabilidad técnica y financiera, favoreciendo la coexistencia de ambas tecnologías según las necesidades de la operación.

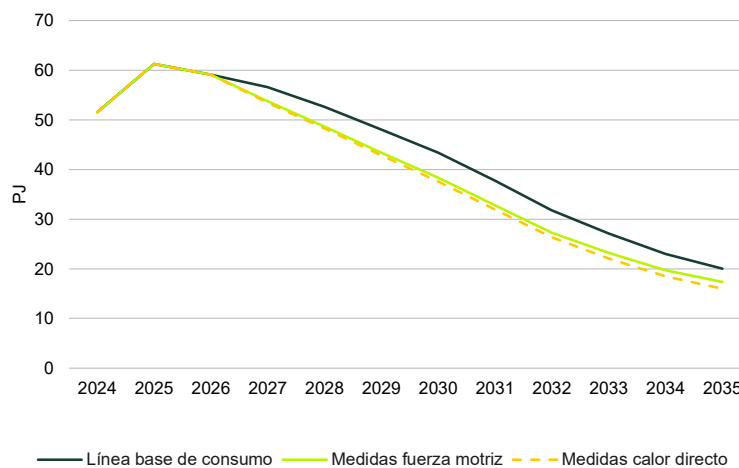
Como resultado de este análisis, se estimó el potencial de reducción de consumo energético y de emisiones asociado a cada medida, y su porcentaje de aporte a la meta sectorial (ver Tabla 21).

Tabla 21. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector minero

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistemas de Gestión de la Energía	7,91	18,24%	0,53
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	8,52	19,65%	0,61
Reconversión tecnológica - RT	Optimización de la combustión y procesos de recuperación de calor	7,30	16,84%	0,42
Reconversión tecnológica - RT	Electrificación de fuerza motriz	0,91	2,10%	0,06
Reconversión tecnológica - RT	Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	6,53	15,05%	0,47
Sustitución de combustibles - SC	Electrificación de la operación	12,18	28,11%	0,90

Fuente: UPME.

El ahorro total de energía establecido es el resultado de medidas con viabilidad de implementación en el corto y mediano plazo, ya que corresponden a tecnologías o prácticas operativas con alto grado de desarrollo tecnológico y disponibles comercialmente; su eficacia ha sido comprobada tanto en la industria minera como en otros sectores productivos.

Figura 53. Proyección línea meta por uso sector minero

Fuente: UPME.

Como resultado de la implementación de las medidas de eficiencia energética priorizadas, se estima un potencial de ahorro energético sectorial de 43,3 PJ, resultado de la combinación

de acciones de buenas prácticas operacionales, reconversión tecnológica y sustitución de combustibles.

Del potencial total estimado, 16,4 PJ (37,9%) se concentran en medidas de BPO, seguidas por las medidas de Reconversión Tecnológica 14,7 PJ (34,0%) y finalmente la sustitución de combustibles 12,2 PJ (28,1%). Estos potenciales de ahorro contribuyen a cambios en la matriz energética sectorial, cuyo impacto más significativo es la reducción en el consumo de diésel y gas natural, los cuales representan 67,1% y 16,7% del potencial de reducción de consumo, respectivamente.

“
En términos de impacto ambiental, estas medidas permitirían mitigar un estimado de 2,99 MtCO₂eq, consolidando la eficiencia energética como un eje clave en la estrategia de descarbonización del sector minero
”

En términos de impacto ambiental, estas medidas permitirían mitigar un estimado de 2,99 MtCO₂eq, consolidando la eficiencia energética como un eje clave en la estrategia de descarbonización del sector minero.

Tabla 22. Resumen de resultados sector minero

Energéticas	● 43,3 PJ
Ambientales	● 2,99 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

10.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector minero

Tabla 23. Análisis B/C sector minero

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
BPO - Sistemas de Gestión de la Energía	2,14	0,94	0,91
BPO - Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	0,46	3,52	2,73
RT - Optimización de la combustión y procesos de recuperación de calor	0,24	0,33	0,58
RT - Electrificación de fuerza motriz	0,81	0,26	0,34
RT - Electrificación de la operación	0,12	0,25	0,33
RT - Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	0,13	1,85	1,46
SC - Electrificación de la operación	0,02	12,54	9,01

Fuente: UPME.

Los resultados para el sector minero muestran un comportamiento diferenciado entre las medidas asociadas a buenas prácticas operacionales, reconversión tecnológica y sustitución de combustibles, evidenciando que la rentabilidad económica y los beneficios agregados dependen significativamente del nivel de intervención requerido y de la capacidad de cada medida para generar impactos estructurales sobre el consumo energético y las externalidades asociadas al sector.

Las medidas asociadas a buenas prácticas operacionales presentan, en general, los mejores resultados desde la perspectiva privada, particularmente la implementación de sistemas de gestión de la energía, que registra un B/C privado de 2,14, reflejando que este tipo de intervenciones genera ahorros importantes con bajos costos relativos de implementación y rápidos retornos económicos para las empresas. Aunque sus beneficios sistémicos y sociales permanecen cercanos, aunque inferiores, a la unidad, con valores de 0,94 y 0,91 respectivamente, estas medidas continúan siendo estratégicamente relevantes desde la perspectiva de política pública, en la medida en que fortalecen capacidades de gestión energética, promueven procesos de mejora continua y facilitan la incorporación progresiva de medidas de eficiencia energética de mayor alcance tecnológico y operativo. En este sentido, los sistemas de gestión de la energía actúan como mecanismos habilitadores para procesos de transformación energética sectorial de largo plazo, favoreciendo además la

generación de información, monitoreo y cultura organizacional orientada al uso eficiente de la energía.

En contraste, los programas de operación y mantenimiento orientados a eficiencia energética presentan un comportamiento significativamente distinto, con un B/C privado de 0,46, pero alcanzando un B/C sistema de 3,52 y un B/C social de 2,73, evidenciando que una parte importante de los beneficios económicos generados no es capturada directamente por el inversionista privado, sino que se materializa en beneficios colectivos asociados a reducción de consumos energéticos, menores requerimientos de oferta energética, disminución de emisiones y mejoras operacionales en procesos intensivos en energía. Este resultado es particularmente relevante, ya que evidencia la existencia de externalidades positivas y fallas de mercado que limitan la adopción voluntaria de medidas que sí generan beneficios netos para el sistema energético y la sociedad.

Las medidas de reconversión tecnológica presentan, en términos generales, bajas rentabilidades privadas y resultados sistémicos variables. La optimización de combustión y procesos de recuperación de calor, la electrificación de fuerza motriz y la electrificación de la operación registran relaciones beneficio-costos privadas entre 0,12 y 0,81, mientras que sus beneficios sistémicos y sociales permanecen inferiores a la unidad. Esto sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, las inversiones requeridas continúan siendo elevadas frente a los beneficios económicos capturados directamente por las empresas y por el sistema. No obstante, la optimización de procesos y el reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes constituye una excepción relevante, alcanzando un B/C sistema de 1,85 y un B/C social de 1,46 pese a registrar un B/C privado de apenas 0,13. Este resultado evidencia que determinadas medidas de modernización tecnológica sí generan beneficios netos para el sistema energético y la sociedad, aun cuando los agentes privados no logran capturar plenamente dichos beneficios bajo condiciones normales de mercado.

Finalmente, las medidas asociadas a sustitución de combustibles reflejan uno de los hallazgos más relevantes del análisis. La electrificación de la operación presenta un B/C privado de apenas 0,02, evidenciando una barrera económica significativa para su adopción voluntaria por parte de los agentes mineros. Sin embargo, esta misma medida alcanza un B/C sistema de 12,54 y un B/C social de 9,03, mostrando que los beneficios agregados para el sistema energético y la sociedad son extraordinariamente superiores a los beneficios percibidos directamente por el inversionista privado. Este comportamiento evidencia la existencia de externalidades positivas relevantes asociadas a reducción de emisiones, sustitución de combustibles fósiles, disminución de impactos ambientales y descarbonización de procesos intensivos en energía. Bajo este contexto, los resultados ofrecen un soporte técnico robusto para justificar mecanismos de promoción pública e

incentivos tributarios asociados a equipos, tecnologías y servicios orientados a eficiencia energética y electrificación minera. Precisamente, el hecho de que varias medidas presenten beneficios sistémicos y sociales superiores a la unidad, mientras mantienen rentabilidades privadas deficitarias, evidencia que los incentivos públicos permiten cerrar la brecha existente entre el beneficio privado y el beneficio colectivo, facilitando la adopción de tecnologías que generan valor agregado para el sistema energético nacional y para la sociedad en su conjunto.

10.4 Conclusiones y recomendaciones sector minero

- Se recomienda fortalecer la implementación de medidas de Buenas Prácticas Operacionales, BPO, especialmente los Sistemas de Gestión de la Energía, SGEEn, bajo la norma NTC ISO 50001. Estas herramientas no solo optimizan la operación y la detección temprana de anomalías, sino que actúan como habilitadores para intervenciones de mayor complejidad técnica y tecnológica. Para garantizar su adopción, se propone diseñar instrumentos especialmente en la pequeña y mediana minería, en donde la brecha tecnológica y la ausencia de datos operativos limitan la transición hacia esquemas más eficientes.
- Se recomienda priorizar la implementación de programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética a través de la submedición avanzada de procesos apoyada en la digitalización, la medición remota y el control operacional; con el fin de optimizar los bienes existentes. Estas acciones permiten la transición desde esquemas de mantenimiento preventivo hacia modelos predictivos y prescriptivos. Considerando que estos programas generan externalidades positivas para la sociedad y el sistema, se propone que la política pública priorice mecanismos financieros y de formación que permitan cerrar las brechas de capital de inversión y de capacidades técnicas para su implementación y operación.
- Se recomienda el diseño e implementación de mecanismos de apoyo y esquemas de incentivos que viabilicen la modernización tecnológica y la optimización de procesos, con especial énfasis en la transición hacia sistemas de acarreo y transporte continuo de alta eficiencia. Estas medidas generan beneficios netos positivos para el sistema energético y la sociedad, sin embargo, presentan limitantes desde la perspectiva privada que restringen su adopción bajo condiciones normales de mercado. En este contexto, el fortalecimiento de instrumentos de política pública orientados a eficiencia

energética resulta fundamental para cerrar la brecha existente entre el beneficio privado y el beneficio colectivo, facilitando que las medidas de mayor impacto energético y ambiental alcancen condiciones de viabilidad técnica y económica para los agentes del sector.

- Dado el impacto positivo que representa la electrificación del acarreo y transporte minero para la sociedad y el sistema, derivado de la reducción de la demanda de combustibles fósiles, se recomienda fortalecer los instrumentos de incentivo que mitiguen las barreras de capital inicial para su adopción. El despliegue de estos mecanismos de política pública resultará determinante para transformar el potencial de beneficio colectivo de esta medida de eficiencia en proyectos operativos que propendan por la descarbonización del sector.
- Se recomienda avanzar hacia una caracterización energética detallada de las actividades mineras más representativas del sector, incluyendo aquellas que excedieron el alcance de este Plan. Este levantamiento de información permitirá definir medidas de eficiencia energética y oportunidades de implementación más ambiciosas, ajustadas al tipo de mineral, el método de explotación y la escala de producción.
- Se propone que los Planes Estratégicos que se formulen en el marco de los Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva incluyan un capítulo de diagnóstico energético, como insumo para la formulación de futuras versiones del PAI PROURE y otros instrumentos de planeación de la UPME. Esto permitirá acercarse a la realidad operativa de las actividades mineras en diferentes contextos.
- Se recomienda fomentar la asociatividad energética en los Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva, con el fin de establecer ecosistemas de eficiencia energética que permitan a los diversos proyectos mineros, así como de otras actividades productivas, acceder y beneficiarse de tecnologías de reconversión y prácticas óptimas de consumo de energía. Esta integración sienta las bases para la implementación de distritos energéticos, aprovechando economías de escala para la gestión centralizada de la demanda y el intercambio de excedentes energéticos entre procesos.

11 ANÁLISIS SECTOR TERMOELÉCTRICO

11.1 Línea base de consumo energético sector termoeléctrico

La generación termoeléctrica es un pilar de la confiabilidad energética del país. Con una capacidad instalada de 5,89 GW, a diciembre de 2024, las plantas termoeléctricas despachadas centralmente, representaron 28,30% de la oferta de energía eléctrica nacional, actuando como el principal mecanismo de gestión de la red frente a las variaciones del sistema. En 2024, las térmicas despachadas centralmente generaron 23.566,30 GWh, lo que representó el 30,92% de la demanda en el periodo.

El crecimiento histórico de la generación termoeléctrica en Colombia ha estado determinado por las necesidades de gestión operativa del sistema, el incremento de la demanda y, de manera relevante, por la ocurrencia de factores climáticos críticos. En este contexto, el fenómeno de El Niño, declarado a finales de 2023 y extendido hasta mayo de 2024, generó una reducción significativa de las precipitaciones y una recuperación lenta de los embalses, especialmente durante el segundo semestre (ANDEG, 2025).

En línea con estas condiciones operativas e hidrológicas, la generación termoeléctrica presentó una tendencia creciente durante el período 2019 – 2024, pasando de 13.319 GWh a 23.566 GWh, lo que representa un incremento superior al 70% en la generación térmica nacional. A pesar de la variabilidad presentada en el periodo de análisis (2019-2024), las térmicas han mantenido una participación superior al 20% en el despacho centralizado en el sistema eléctrico nacional. Este comportamiento evidencia el papel estratégico de las centrales térmicas como respaldo del Sistema Interconectado Nacional (SIN) ante escenarios de menor disponibilidad hídrica y mayores requerimientos de confiabilidad operativa, contribuyendo de manera fundamental a la seguridad, estabilidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico nacional.

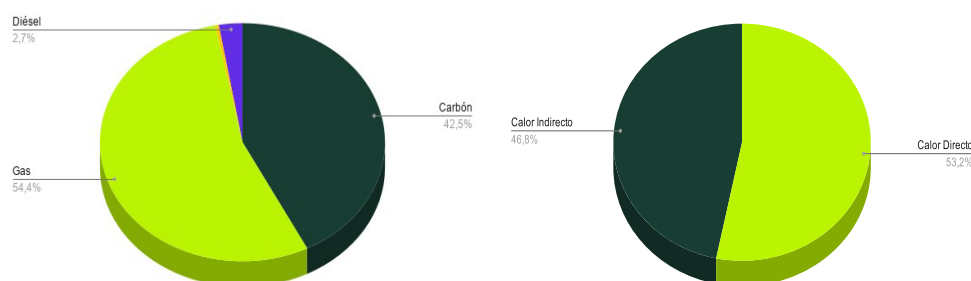
La configuración del parque termoeléctrico se divide en dos principales categorías tecnológicas, diferenciadas por su nivel de eficiencia y escala de capacidad instalada. Las plantas de ciclo combinado constituyen el segmento de mayor eficiencia térmica, conformado por 8 centrales que aportan en conjunto 3,13 GW de capacidad instalada. Estas unidades

presentan capacidades individuales entre 160 y 791 MW, y algunas registran hasta 36 años de operación.

Por su parte, las plantas de ciclo abierto representan el grupo más numeroso, con 32 centrales. Estas utilizan tecnologías basadas en los ciclos Brayton, Otto, Rankine y STIG, con capacidades unitarias que se encuentran entre 25 y 270 MW y algunas unidades alcanzan hasta 63 años de operación.

La matriz de combustibles del parque térmico despachado centralmente se compone principalmente de gas (54,4%) y carbón (42,5%), mientras que los combustibles líquidos, principalmente diésel y fuel oil, aportan el 3,1% restante.

Figura 54. Balance de consumo sector termoelectrico año 2024

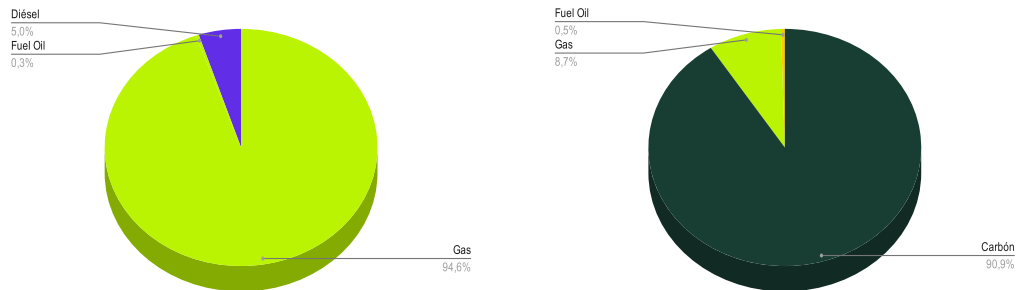


Fuente: XM, UPME 2026.

Adicionalmente, las centrales térmicas que conforman el parque de generación nacional se clasificaron según su tecnología, con el propósito de determinar la distribución del consumo de combustible en función de su uso energético, según la tipificación del PAI PROURE. Las plantas basadas en el ciclo Rankine se asociaron con el uso de calor indirecto, dado que la generación de electricidad se fundamenta en la transferencia y aprovechamiento del calor mediante un fluido de trabajo (vapor de agua).

Por su parte, las tecnologías correspondientes a los ciclos Brayton, Otto y STIG se clasificaron dentro del uso de calor directo, ya que la conversión energética se realiza mediante la expansión directa de los gases de combustión en equipos motrices. Bajo este mismo criterio se incluyó al ciclo combinado en esta categoría, dado que su etapa de consumo primario de energía se presenta en la turbina de gas, cuya eficiencia global es potenciada posteriormente mediante la recuperación de calor residual para el ciclo de vapor.

Figura 55. Consumo de combustibles para generación por uso sector termoelectrico



Fuente: XM, UPME.

En 2024, el gas concentró la mayor participación en el uso de calor directo, con el 94,6 % del consumo (120,58 PJ), seguido del diésel con una participación del 5,0 % (6,41 PJ). En el caso del calor indirecto, el carbón predominó ampliamente con el 90,9 % del consumo (101,76 PJ), mientras que el gas aportó el 8,7 % (9,71 PJ). Por su parte, el fuel oil registró una participación marginal en ambos usos energéticos, con el 0,3 % (0,44 PJ) en calor directo y el 0,5 % (0,51 PJ) en calor indirecto.

Desde el punto de vista tecnológico, el carbón se utiliza exclusivamente en plantas de ciclo Rankine, asociadas al uso de calor indirecto. En cambio, el gas y los combustibles líquidos se vinculan mayoritariamente con tecnologías de calor directo, para las tecnologías antes referidas.

En el mediano plazo, la creciente integración de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), como la solar y la eólica, incrementará la variabilidad en la operación del sistema eléctrico, lo que demandará mayores niveles de flexibilidad operativa por parte del parque térmico.

En este escenario, las centrales de ciclo abierto presentan una ventaja operativa, debido a su capacidad de arranque rápido y velocidad de respuesta, lo que les permite compensar con mayor eficacia las variaciones en la generación asociadas a estas fuentes variables, en comparación con las centrales de ciclo combinado. Por lo cual, la creciente participación de generación variable conducirá a que el parque termoelectrico opere con mayores requerimientos de flexibilidad, incluyendo rampas de carga más pronunciadas y ciclos de arranque y parada más frecuentes, lo que exige una optimización de la operación para mantener niveles adecuados de eficiencia y confiabilidad del sistema.

En este contexto, la digitalización del sector termoeléctrico adquiere un papel estratégico para mejorar la eficiencia operativa, la flexibilidad y la confiabilidad del sistema eléctrico. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2017), la incorporación de tecnologías digitales en centrales de generación y redes eléctricas permite optimizar la operación mediante el uso de analítica avanzada de datos, sensores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y herramientas de inteligencia artificial orientadas a la toma de decisiones operativas. Estas tecnologías contribuyen a reducir costos de operación y mantenimiento y a disminuir tiempos de indisponibilidad no programada, optimizar el desempeño de los equipos bajo condiciones de carga parcial y extender la vida útil de los activos de generación.

Para avanzar en el cumplimiento de las metas sectoriales de diversificación de la matriz energética y reducción de emisiones, será necesario implementar sistemas avanzados de control operativo y tecnologías de almacenamiento de energía que permitan gestionar de manera más eficiente la variabilidad del sistema. Asimismo, la optimización de los niveles de carga mínima y la mejora en la capacidad de respuesta rápida de las centrales térmicas contribuirán a garantizar la firmeza técnica y la confiabilidad en la operación del sistema eléctrico.

La línea base de consumo del sector se construyó a partir del Escenario 1 del Plan Indicativo de Expansión de la Generación (PIEG) 2025–2039. Este escenario incorpora las proyecciones de demanda de energía, los precios de los combustibles, así como los proyectos de generación con obligaciones derivadas del Cargo por Confiabilidad (CxC) y de las Subastas de Contratos de Largo Plazo (CLPE), junto con aquellos que cuentan con concepto de conexión aprobado.

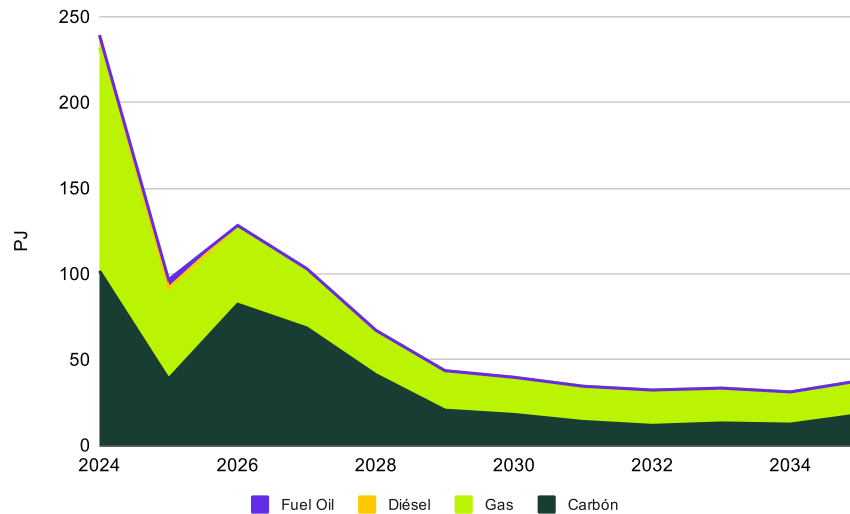
Asimismo, considera la evolución esperada de la matriz de generación eléctrica y el retiro gradual de algunas centrales térmicas contempladas en el cronograma de salida de operación de plantas térmicas definido en el plan; este último, formulado exclusivamente con el fin de analizar el impacto que causaría en el sistema la salida de estas plantas térmicas, sin que esto implique una decisión real o confirmada por parte de los agentes (PIEG 2025–2039).

Aunque el año base definido para el análisis corresponde a 2024, también se incorporó la generación efectiva de las centrales térmicas durante 2025, con el propósito de reflejar la dinámica reciente del parque termoeléctrico y las condiciones operativas observadas en el período posterior al fenómeno de El Niño 2023–2024.

Adicionalmente, se consideraron variables del entorno económico, político y ambiental que inciden en la evolución de la matriz de generación eléctrica. Entre estas se contemplaron

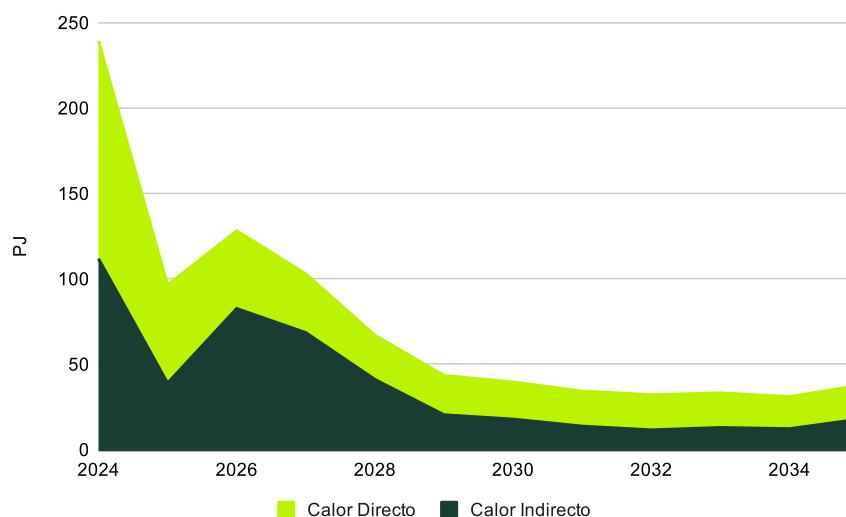
posibles cambios regulatorios, señales de política energética, avances tecnológicos y otros supuestos asociados a los procesos de descarbonización y transición energética en el país.

Figura 56. Proyección línea base por energético



Fuente: UPME.

El consumo de energía del parque de generación termoeléctrico despachado centralmente presentó en 2024 el mayor pico del período analizado, con 239,42 PJ, cifra significativamente superior a los 96,61 PJ registrados en 2025, lo que representa una reducción del 59,7 % en el consumo respecto al año anterior. Este comportamiento responde directamente a las condiciones hidrológicas adversas derivadas del fenómeno de El Niño 2023-2024, durante el cual la generación térmica alcanzó los 23,43 TWh, un 57% superior a los 10,09 TWh generados en 2025. De acuerdo con ANDEG (2025), la participación de la generación térmica llegó a cubrir hasta el 58 % de la demanda diaria durante el periodo crítico del fenómeno climático.

Figura 57. Proyección línea base por uso sector termoeléctrico

Fuente: UPME.

En el período 2024–2035, el despacho centralizado térmico se basa principalmente en una combinación de gas y carbón, los cuales aportan conjuntamente el 98,1 % (870,18 PJ) del consumo energético total del parque termoeléctrico. Dentro de este bloque, la participación acumulada de ambos energéticos se mantiene equilibrada con un 49,6 % (440,14 PJ) para el carbón y un 48,5 % (430,04 PJ) para el gas. En contraste, el diésel y el fuel oil presentan una participación marginal, equivalente al 1,9 % (16,72 PJ) del consumo acumulado del período, comportamiento que se mantiene a lo largo del horizonte analizado.

El carbón, asociado fundamentalmente a centrales de ciclo Rankine (aprovechamiento de calor indirecto), mantiene una participación relevante a lo largo de todo el horizonte. En contraste, el gas, combustible estratégico en tecnologías de calor directo (turbinas de gas, ciclos combinados y motores de combustión interna), si bien experimenta una reducción en su consumo entre 2026 y 2028 debido a restricciones de oferta y condiciones de precio, incrementa su participación frente al carbón a partir de 2030.

11.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética prioritizadas sector termoeléctrico

Las medidas de eficiencia energética para el sector termoeléctrico se clasificaron en dos categorías principales: buenas prácticas operacionales (BPO) y reconversión tecnológica

orientada a la optimización de procesos. La priorización de estas medidas se fundamentó en el estudio técnico desarrollado por E2 Energía Eficiente para el sector termoeléctrico colombiano, en el cual se analizaron las condiciones operativas, los parámetros de desempeño y las características tecnológicas de una muestra representativa de las centrales térmica del país, permitiendo identificar oportunidades de reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

A partir de la priorización realizada, se desarrolló un análisis orientado a estimar el impacto potencial de cada acción sobre el consumo energético y la reducción de emisiones, mediante una matriz de evaluación que consideró criterios asociados a su aplicabilidad en el sector, potencial de ahorro energético y viabilidad técnica de implementación. Este enfoque metodológico permitió consolidar información técnica actualizada y parámetros representativos para realizar una evaluación objetiva y comparable de las medidas priorizadas, complementando las limitaciones de información operativa disponible mediante la incorporación de referencias técnicas y experiencias aplicadas en centrales de generación con características tecnológicas similares.

Las buenas prácticas operacionales (BPO) constituyen una de las principales fuentes de mejora de eficiencia energética en las centrales termoeléctricas, en el corto y mediano plazo. Estas estrategias trascienden las actividades convencionales de operación y mantenimiento al incorporar sistemas de gestión de la energía, control avanzado de parámetros de combustión y esquemas de submedición detallada que facilitan el monitoreo, seguimiento y mejora continua de los procesos. Adicionalmente, esta categoría se potencia con la incorporación de herramientas de digitalización y analítica de datos orientadas a optimizar el desempeño energético y aumentar la confiabilidad operativa de los activos mediante la aplicación de modelos predictivos.

En cuanto a las medidas de reconversión tecnológica, estas se orientan a la modernización de equipos mediante la incorporación de sistemas de alta eficiencia que reducen el consumo específico de combustible. Esta categoría integra acciones de alto impacto, como la recuperación y aprovechamiento de calor residual. Las mejoras que incluyen la implementación de variadores de frecuencia y la optimización de sistemas de bombeo, ventilación y transferencia térmica, contribuyen a una operación más eficiente y flexible del ciclo de generación.

En conjunto, las medidas priorizadas buscan fortalecer la eficiencia energética, confiabilidad y flexibilidad operativa del parque termoeléctrico nacional, contribuyendo a la reducción del consumo energético, la disminución de emisiones asociadas a la generación térmica y la

adaptación del sistema eléctrico a escenarios de mayor penetración de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).

Como resultado de este análisis, se estimó el potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones asociado a cada medida. Estas medidas fueron tipificadas de acuerdo con las tecnologías de generación del parque termoeléctrico, lo que viabiliza la correspondencia técnica de las mejoras propuestas y los perfiles de operación.

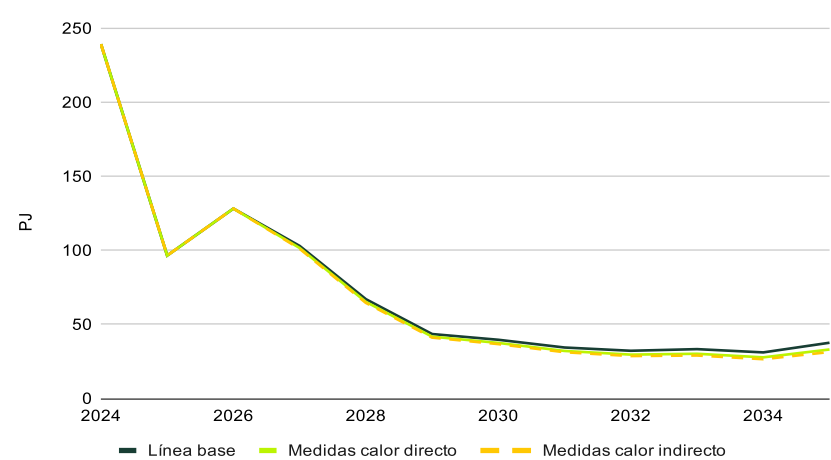
La Tabla 24 presenta las medidas priorizadas, su potencial de reducción de consumo energético y emisiones, así como su porcentaje de aporte a la meta sectorial.

Tabla 24. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el sector termoeléctrico

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Sistemas de Gestión de la Energía	9,85	31,10%	0,64
Buenas Prácticas Operacionales - BPO	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	8,67	27,38%	0,56
Reconversión tecnológica - RT	Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	8,58	27,09%	0,55
Reconversión tecnológica - RT	Optimización de los procesos de combustión	2,49	7,86%	0,17
Reconversión tecnológica - RT	Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	2,08	6,57%	0,12

Fuente: UPME.

Figura 58. Proyección línea meta por uso sector termoeléctrico



Fuente: UPME.

Como resultado de la implementación de las medidas de eficiencia energética priorizadas, se estima un potencial de ahorro energético sectorial de 31,67 PJ, derivado de la combinación de acciones asociadas a buenas prácticas operacionales (BPO) y reconversión tecnológica orientada a la optimización de procesos.

Del potencial total estimado, 18,52 PJ (58,48 %) corresponden a medidas de BPO, consolidándose como la principal fuente de ahorro energético del sector, debido a su alta aplicabilidad y capacidad de implementación progresiva en las centrales termoeléctricas. De manera complementaria, las medidas de reconversión tecnológica aportan 13,15 PJ (41,52%) del potencial total de ahorro, mediante la modernización y optimización de equipos y procesos con mayores niveles de eficiencia energética. En conjunto, estos potenciales de ahorro contribuyen a la transformación gradual de la matriz energética sectorial, principalmente a través de la reducción del consumo de gas natural y carbón, los cuales representan el 73% y 27% del potencial de reducción del consumo energético, respectivamente.

En términos ambientales, la implementación de estas medidas permitiría una mitigación estimada de 2,04 MtCO₂eq, consolidando la eficiencia energética como un eje estratégico para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el fortalecimiento de la competitividad operativa y el avance de la transición energética del sector termoeléctrico nacional.

“Consolidando la eficiencia energética como un eje estratégico para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el fortalecimiento de la competitividad operativa y el avance de la transición energética del sector termoeléctrico nacional”

Tabla 25. Resumen de resultados sector termoeléctrico

Energéticas	• 31,67 PJ
Ambientales	• 2,04 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

11.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector termoeléctrico

Tabla 26. Análisis B/C sector termoeléctrico

Medida	B/C privado	B/C sistema	B/C social
BPO - SGEN Gas	5,29	0,74	0,31
BPO - SGEN Carbón	2,77	2,66	1,79
BPO - Gas Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	2,35	0,74	0,31
BPO - Carbón Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	0,35	2,66	1,79
RT - Gas Optimización de los procesos de combustión	1,96	0,74	0,31
RT - Gas Optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	1,71	0,74	0,31
RT - Gas Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	25,64	0,74	0,31
RT - Carbón Optimización de los procesos de combustión	0,18	2,66	1,79
RT - Carbón Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	0,49	2,66	1,79

Fuente: UPME.

Los resultados para el sector de generación eléctrica con centrales térmicas muestran un comportamiento claramente diferenciado entre las medidas aplicadas a plantas que utilizan gas natural y aquellas que utilizan carbón como combustible principal.

En términos generales, todas las medidas presentan relaciones beneficio costo privadas superiores a la unidad, lo que indica que su implementación resulta económicamente viable para los agentes del sector. Sin embargo, la magnitud de los beneficios obtenidos desde las perspectivas privada, sistémica y social varía significativamente según el energético involucrado. En las centrales térmicas a gas natural, las medidas asociadas a sistemas de gestión de la energía, programas de operación y mantenimiento, optimización de procesos de combustión y recuperación de energía para autoconsumo presentan B/C privados entre 1,96 y 25,64, reflejando importantes oportunidades de reducción de consumos energéticos y mejora en la eficiencia de conversión térmica.

No obstante, sus beneficios sistémicos y sociales permanecen relativamente homogéneos y por debajo de la unidad, con valores cercanos a 0,74 y 0,31 respectivamente, lo que sugiere

que gran parte de los beneficios económicos derivados de estas medidas son capturados directamente por los agentes generadores, mientras que los impactos agregados sobre el sistema energético y la sociedad son comparativamente más limitados bajo los supuestos considerados.

Un comportamiento diferente se observa en las medidas aplicadas a centrales térmicas a carbón. Tanto los sistemas de gestión de la energía como los programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética presentan relaciones beneficio-costos privadas de 2,77 y 2,35 respectivamente, acompañadas de B/C sistema de 2,66 y B/C social de 1,79. Estos resultados evidencian que las mejoras de eficiencia en plantas carboneras generan beneficios que trascienden el ámbito empresarial y se reflejan también en ganancias netas para el sistema energético y la sociedad.

Desde una perspectiva económica, esto puede explicarse por la alta intensidad energética asociada al uso del carbón, donde reducciones relativamente pequeñas en el consumo específico de combustible producen efectos significativos sobre costos operativos y utilización de recursos energéticos. En consecuencia, las mejoras de eficiencia aplicadas a este tipo de instalaciones presentan una capacidad significativamente mayor para generar beneficios colectivos en comparación con tecnologías térmicas basadas en gas natural.

11.4 Conclusiones y recomendaciones sector termoeléctrico

- Se recomienda promover la implementación progresiva de estrategias de digitalización y modernización operativa en las centrales termoeléctricas, orientadas al aprovechamiento avanzado de la información disponible en sistemas SCADA y plataformas de supervisión energética. Estas estrategias incluyen herramientas de analítica avanzada de datos, inteligencia artificial, mantenimiento predictivo, automatización de procesos y sistemas de optimización operativa en tiempo real, con el propósito de fortalecer la eficiencia energética, mejorar la flexibilidad operativa frente a la creciente penetración de FNCER y reducir pérdidas energéticas e indisponibilidades no programadas.
- Considerando el papel estratégico de las centrales termoeléctricas en la confiabilidad y respaldo del Sistema Interconectado Nacional (SIN), se recomienda fortalecer programas orientados a la optimización de procesos de combustión, reducción del consumo específico de combustible y recuperación de calor residual para autoconsumo en procesos internos. Estas medidas permiten reducir pérdidas

energéticas, mejorar la eficiencia global de las plantas y disminuir las emisiones asociadas a la generación térmica.

- Asimismo, se recomienda impulsar el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas que permitan evolucionar desde esquemas convencionales de monitoreo hacia modelos predictivos y prescriptivos de gestión energética, en línea con las tendencias internacionales de transformación digital del sector eléctrico.
- También, resulta estratégico fortalecer la incorporación de sistemas de almacenamiento energético, control avanzado de carga, esquemas de respuesta rápida, soporte de tensión, inercia síncrona y estabilidad dinámica que permitan mejorar la integración operativa entre generación térmica y fuentes renovables variables, garantizando la estabilidad y resiliencia del sistema eléctrico nacional. En este contexto, se recomienda promover evaluaciones técnicas y económicas que permitan identificar el potencial de reconversión de centrales térmicas existentes, particularmente en zonas con alta incorporación proyectada de generación renovable y mayores requerimientos de soporte operativo para el SIN, en articulación con los lineamientos de transición energética, confiabilidad y eficiencia energética establecidos en el PAI PROURE.
- Los resultados del análisis B/C permiten concluir que las oportunidades de eficiencia energética en generación térmica tienen fundamentos económicos sólidos para su implementación, dado que todas las medidas evaluadas presentan rentabilidad privada positiva. Sin embargo, la priorización de políticas públicas podría diferenciarse según el combustible utilizado:
 - En las plantas a gas natural, donde los beneficios privados son elevados pero los beneficios sistémicos y sociales resultan relativamente moderados, las estrategias podrían enfocarse en fortalecer mecanismos de gestión energética, difusión tecnológica y buenas prácticas operacionales que permitan acelerar la adopción de medidas que ya son económicamente atractivas para los agentes.
 - Por el contrario, en las plantas a carbón, donde los beneficios privados, sistémicos y sociales son simultáneamente positivos, las acciones orientadas a mejorar la eficiencia energética adquieren un valor estratégico adicional al contribuir no solo a la competitividad de la generación, sino también al mejor aprovechamiento de recursos energéticos. En este sentido, los resultados sugieren que las medidas de eficiencia energética en centrales térmicas a

carbón podrían constituir una de las alternativas con mayor capacidad para generar beneficios compartidos entre empresas, sistema energético y sociedad, fortaleciendo simultáneamente los objetivos de competitividad, sostenibilidad y transición energética del sector eléctrico colombiano.

- Finalmente, se recomienda consolidar indicadores sectoriales de desempeño energético y emisiones para el parque termoeléctrico, que permitan realizar seguimiento periódico a la eficiencia operativa de las plantas y orientar procesos de modernización tecnológica y transición energética en el sector.

12 ANÁLISIS SECTOR ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

12.1 Línea base de consumo energético sector almacenamiento

En esta versión del PAI PROURE, los sistemas de almacenamiento se integran como un eje transversal de la oferta y transformación de la energía eléctrica, reconociendo su rol estratégico en la optimización del despacho, la operación y la planificación del sistema. Como vectores de eficiencia energética sistémica, estos sistemas favorecen la flexibilidad

“

Como vectores de eficiencia energética sistémica, estos sistemas favorecen la flexibilidad del parque de generación, y la seguridad y confiabilidad en la atención de la demanda

”

del parque de generación, y la seguridad y confiabilidad en la atención de la demanda. Bajo este enfoque, se priorizan medidas y acciones orientadas al soporte de red y alivio de restricciones, alineadas con los objetivos de eficiencia energética de este Plan.

Colombia avanza en la estrategia de incorporación de estos activos al sistema eléctrico del país. En el año 2021, Enel implementó un sistema de baterías de ion-litio en la central de Termozipa, que cuenta con una capacidad para almacenar 7 MW de potencia y 3,9 MWh de energía. Este proyecto permite aumentar la capacidad de la central, ya que al

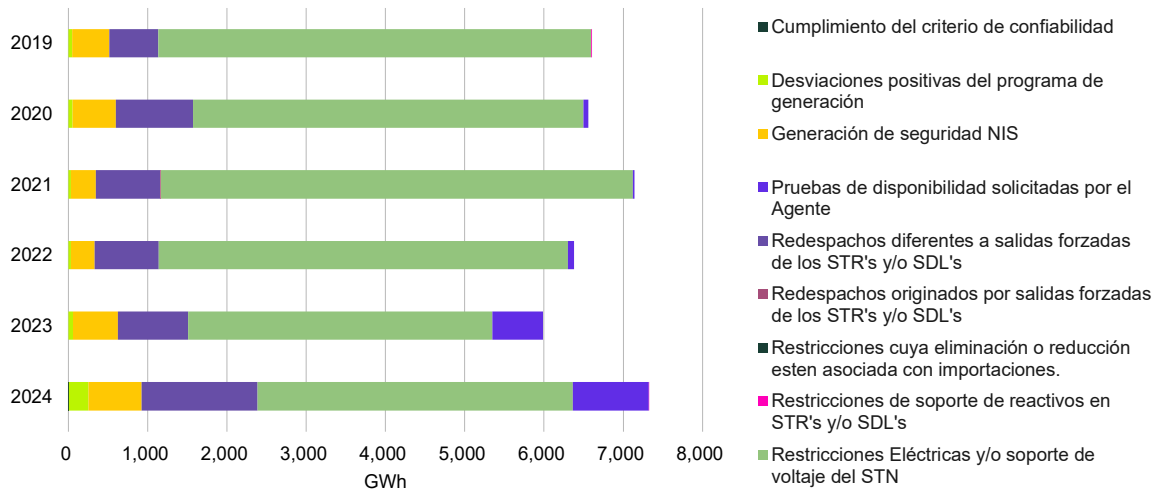
liberar el 3% de energía que se debe destinar al servicio de Regulación Primaria de Frecuencia (RPF) puede comercializar la energía y respaldar la estabilidad del sistema (Enel, 2025).

A esta iniciativa se suma la primera subasta de almacenamiento de energía a gran escala en Latinoamérica, desarrollada en el año 2021, con la visión de apoyar la red de transmisión regional del departamento de Atlántico, para mitigar inconvenientes presentados por la insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema de Transmisión Regional. Este proyecto, originalmente previsto para entrar en funcionamiento en el año 2023, no ha iniciado operación debido a retos asociados con la

logística del proyecto, de conexión e interoperabilidad, así como regulatorios; sin embargo, ha sido fundamental en la arquitectura de la regulación vigente.

En este capítulo se analiza el potencial de generación térmica que se podría evitar mediante la instalación de almacenamiento eléctrico, para atender necesidades de confiabilidad, seguridad y estabilidad del sistema (Generación Fuera de Mérito - GFM). Históricamente, más del 50% de la GFM, corresponde a la causal restricciones eléctricas y/o soporte de voltaje del Sistema de Transmisión Nacional - STN (ver **Figura 59**). Es principalmente en este escenario en donde el almacenamiento actúa como vector de eficiencia, desde la perspectiva de este Plan, ya que su implementación contribuye a mitigar el despacho forzado y con ello a la reducción de los ciclados ineficientes de las centrales termoeléctricas (entradas y salidas de operación constantes), las cuales suelen operar en condiciones subóptimas frente a estas circunstancias para garantizar confiabilidad. Al responder de manera rápida a las necesidades del sistema, el almacenamiento contribuye a optimizar la operación del parque de generación.

Figura 59. Generación de Seguridad Fuera de Mérito - GFM por causal

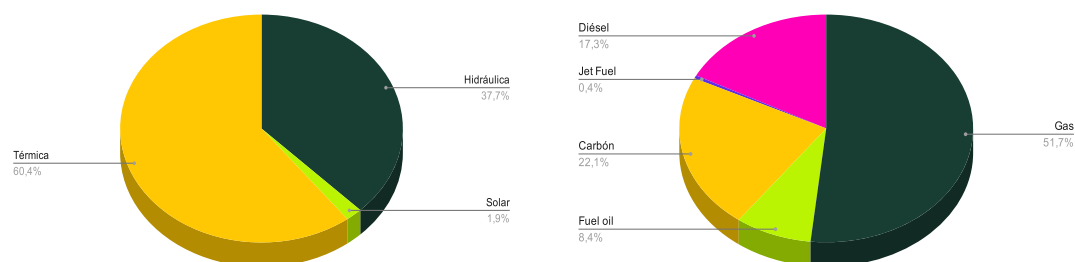


Fuente: XM.

En el año base (2024), la composición de la matriz de generación fuera de mérito evidencia que la estabilidad del sistema depende en un 60% de recursos térmicos, con una presencia significativa de gas natural (52%), carbón (22%) y diésel (17%) (ver **Figura 60**). Si se considera que, actualmente la participación de las FNCER es del orden de 8% de la energía del sistema eléctrico colombiano, se concluye que su participación no es aún un factor determinante de las restricciones. Sin embargo, en la medida en que aumente la penetración

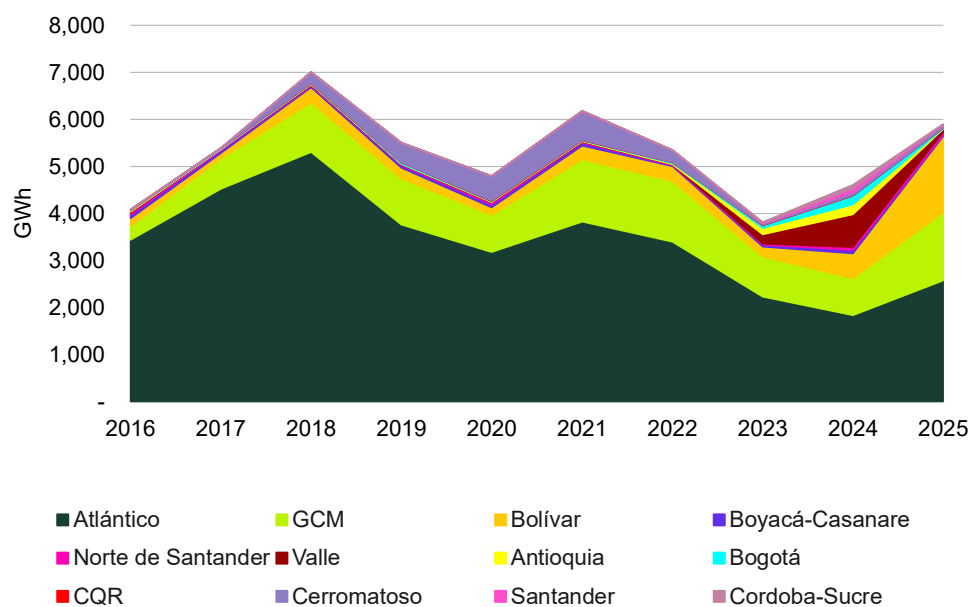
de estas fuentes variables de generación, se impactará la dinámica de la red, imponiendo nuevos retos operativos y reforzando el rol del almacenamiento en la estabilidad del sistema.

Figura 60. GFM por recurso y energético año 2024



Fuente: XM.

Figura 61. Generación de Seguridad Fuera de Mérito por subárea operativa



Fuente: XM.

La costa caribe cuenta con los mayores niveles de generación fuera de mérito (Atlántico, GCM y Bolívar), en donde centrales como Flores 4 y TEBSA representan al menos el 36% de esta energía en el periodo analizado (ver **Figura 61**). Por su parte, las centrales Guajira 1 y 2 generan fuera de mérito de manera consistente, posiblemente debido a la necesidad de soporte de tensión en el área. Asimismo, se destaca el aumento en la GFM de Termonorte

con fuel oil; aunque esto implica mayores costos operativos, ha permitido responder a contingencias del sistema, incluso ante restricciones en el suministro de gas natural.

El marco normativo colombiano ha evolucionado para reconocer al almacenamiento como un eje estratégico de la Transición Energética Justa. El Decreto 1091 de 2025 del Ministerio de Minas y Energía establece los lineamientos de política para la vinculación de proyectos mediante mecanismos de contratación a largo plazo asociados a diversas actividades del sector eléctrico, entre ellos el almacenamiento, promoviendo su expansión para fortalecer la resiliencia y diversificación de la matriz energética nacional.

Por su parte, la CREG publicó para la Resolución 101 113 DE 2026, la cual define aspectos comerciales de los SAEB, así como las reglas para su instalación y operación. La norma clasifica el almacenamiento en tres modalidades: activos de red, servicios comercializables (que permiten a agentes independientes participar en el mercado mayorista) y recursos de generación híbridos, estableciendo así un marco integral para su despliegue.

Recientemente, el Decreto 393 de 2026 del Ministerio de Minas y Energía introdujo la definición de apilamiento de servicios, permitiendo que un mismo activo preste funciones simultáneas o excluyentes como regulación de frecuencia, control de tensión, soporte de inercia y arranque autónomo. Esta disposición es fundamental para la viabilidad operativa y económica de los sistemas de almacenamiento, al habilitar su contribución multifuncional a la estabilidad y resiliencia del sistema.

Gracias a su capacidad de respuesta rápida, los sistemas de almacenamiento aportan flexibilidad y resiliencia, optimizando la infraestructura existente para garantizar la seguridad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica. Al respecto, proyecciones recientes del BID señalan que para el año 2034, la incorporación óptima de estas tecnologías deberá alcanzar los 900 MW, distribuidos en nodos estratégicos de la red. Este despliegue fortalecerá la confiabilidad del sistema en diferentes niveles, entre ellos, el alivio de congestiones críticas y la gestión eficiente de la matriz frente a la variabilidad climática (BID, 2026).

12.2 Línea meta y medidas de eficiencia energética priorizadas sector almacenamiento

El modelamiento del potencial de eficiencia energética de este sector, y su vez medida de eficiencia energética, se fundamenta en la generación de seguridad fuera de mérito para el

año base (2024), con foco en los recursos termoeléctricos. A partir de los proyectos de almacenamiento operativos y próximos a entrar, se simuló un escenario de escalamiento de baterías sistémica, mediante la integración de múltiples unidades de capacidades equivalentes a las de los proyectos mencionados. Esto con el objeto de sustituir generación termoeléctrica forzada y mitigar restricciones en los puntos en donde la capacidad de los SAEB sea técnicamente apta para suplir los requerimientos de confiabilidad.

Para ello, con base en la información histórica de GFM, se asume que el comportamiento de esta variable se mantiene constante durante el periodo de análisis y con el mismo impacto en las áreas eléctricas, según la respuesta de las térmicas en el año base.

Es importante precisar que el presente análisis se circunscribe exclusivamente al ámbito de la eficiencia energética, bajo la metodología y tipificación de medidas de eficiencia del PAI PROURE, por lo cual sus resultados podrán diferir de los análisis y/o criterios de expansión y confiabilidad utilizados por la UPME y demás agentes del sector. En consecuencia, este ejercicio no constituye una definición técnica de nodos críticos y óptimos para la implementación del almacenamiento, sino una estimación del potencial de ahorro y sustitución de energía primaria desde la oferta y transformación de energía.

Bajo ese criterio, los resultados del análisis indican que la instalación de los sistemas de almacenamiento permitiría sustituir cerca del 5% de la generación termoeléctrica de seguridad frente a los datos del año base. Adicionalmente, se espera que el almacenamiento de energía se de en horas de exceso hídrico y de FNCE, y se entregue en horas de estrés térmico, para fomentar no solo la eficiencia técnica sino económica de la operación.

Tabla 27. Medidas de eficiencia energética priorizadas para el almacenamiento de energía eléctrica

Tipo de Medida	Medida	Potencial de ahorro (PJ)	Porcentaje de aporte a la meta sectorial	Reducción de Emisiones (MtCO ₂ eq)
Buenas Prácticas	Almacenamiento de energía eléctrica	24,99	100%	1,92
Reconversión tecnológica				
Sustitución de combustibles				

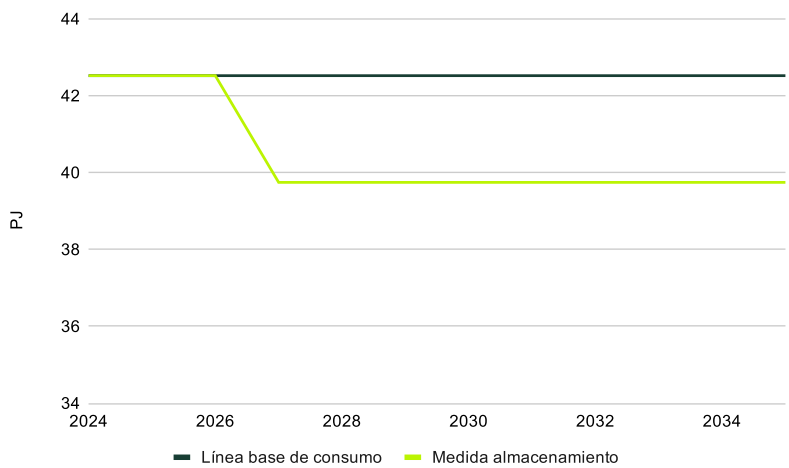
Fuente: UPME.

Los sistemas de almacenamiento optimizan la operación del SIN al proveer servicios de respuesta rápida (frecuencia y voltaje), sustituyendo intervenciones térmicas reactivas e

ineficientes. También, permiten integrar excedentes renovables para desplazar generación fósil en horas punta y proveen reserva inercial (al incorporar tecnologías de formación de red - Grid Forming), eliminando consumos de combustibles innecesarios. Esto promueve una arquitectura sistémica en donde el parque térmico se especializa en aportar firmeza y energía de base, optimizando el despacho global.

Se estima que el potencial de ahorro en el consumo de energía para generación fuera de mérito es de 24,99 PJ, entre el 2027 y 2035, con un respectivo ahorro en emisiones de 1,92 MtCO₂eq.

Figura 62. Proyección línea meta sector almacenamiento de energía eléctrica



Fuente: UPME.

Tabla 28. Resumen de resultados sector almacenamiento de energía eléctrica

Energéticas	• 24,99 PJ
Ambientales	• 1,92 MtCO ₂ eq

Fuente: UPME.

12.3 Análisis beneficio costo de las medidas de eficiencia energética sectoriales priorizadas sector almacenamiento

Tabla 29. Análisis B/C sector almacenamiento de energía eléctrica

Medida priorizada	B/C Privado	B/C Sistema	B/C Sociedad
Almacenamiento de energía eléctrica	N/A	1,93	1,00

Fuente: UPME.

El análisis de la medida de almacenamiento de energía eléctrica presenta características sustancialmente diferentes a las observadas en los sectores de la demanda. Sus beneficios derivan no solo de la reducción en el consumo energético, sino de la utilización más eficiente de la infraestructura existente del sistema eléctrico y de la sustitución de generación fuera de mérito. El modelamiento realizado permite cuantificar el potencial de los SAEB para sustituir generación termoeléctrica forzada y mitigar restricciones operativas en aquellas zonas donde técnicamente pueden aportar confiabilidad y flexibilidad al sistema. Bajo este enfoque, la medida alcanza una relación beneficio costo del sistema de 1,93 y una relación beneficio costo para la sociedad de 1,00, evidenciando que el almacenamiento constituye una alternativa costo-efectiva desde la perspectiva del sistema eléctrico y que, desde la perspectiva social, los beneficios obtenidos compensan los costos de implementación bajo los supuestos considerados.

Los resultados muestran que el principal valor económico de los sistemas de almacenamiento se concentra en la optimización de la operación del sistema, particularmente mediante la reducción de costos asociados a generación de seguridad, restricciones operativas y utilización ineficiente de recursos termoeléctricos. En este contexto, los SAEB actúan como una alternativa capaz de sustituir generación fuera de mérito que, si bien resulta necesaria para garantizar confiabilidad bajo determinadas condiciones operativas, implica costos elevados para el sistema. El hecho de que la relación beneficio-costos del sistema alcance un valor cercano a 2 indica que los ahorros derivados de una operación más eficiente prácticamente duplican los costos asociados a la expansión de la capacidad de almacenamiento evaluada. Este resultado demuestra que el valor económico del almacenamiento trasciende el arbitraje energético tradicional y se materializa en una utilización más eficiente de la infraestructura eléctrica, la reducción de costos operativos y una mejor gestión de los recursos energéticos disponibles.

Desde la perspectiva social, el resultado obtenido evidencia que los beneficios asociados al almacenamiento alcanzan un nivel prácticamente equivalente a los costos de implementación, lo que confirma que la medida mantiene una contribución positiva para la sociedad, aunque con un margen reducido bajo las condiciones y supuestos del

ejercicio. Este comportamiento sugiere que el mayor valor económico del almacenamiento se concentra en la eficiencia operativa del sistema eléctrico, mientras que los beneficios sociales adicionales, asociados principalmente a la reducción de emisiones, al menor consumo de combustibles fósiles y la disminución de generación termoeléctrica fuera de mérito, permiten mantener un balance social favorable. En este sentido, los resultados respaldan la incorporación del almacenamiento como una medida de eficiencia energética de carácter sistémico, al permitir alcanzar los mismos niveles de confiabilidad y calidad del servicio mediante una utilización más eficiente los recursos energéticos existentes.

12.4 Conclusiones y recomendaciones sector almacenamiento

- Si bien esta iniciativa se enmarca conceptualmente como sector y como medida de eficiencia energética, abarcando las tres tipificaciones del PAI PROURE, se recomienda que la integración de los sistemas de almacenamiento sea estratégica y diferenciada. Es fundamental que la tecnología se adapte a la naturaleza de cada nodo, priorizando, por ejemplo, sistemas con capacidad Grid-Forming en nodos críticos, redes débiles o con alta penetración de FNCE, y sistemas Grid-Following en zonas con infraestructura de red más robusta.
- El almacenamiento genera beneficios netos positivos para el sistema y para la sociedad. Esto refuerza la importancia de continuar consolidando marcos regulatorios y señales económicas que reconozcan adecuadamente el aporte de los SAEB a la eficiencia operativa del sistema eléctrico. Asimismo, los resultados evidencian que la expansión estratégica del almacenamiento puede constituirse en un mecanismo costo-efectivo para reducir la dependencia de la generación termoeléctrica fuera de mérito, mejorar la eficiencia operativa del sistema eléctrico y facilitar la integración de recursos energéticos más limpios y flexibles, contribuyendo simultáneamente a los objetivos de eficiencia energética, confiabilidad y transición energética del país.

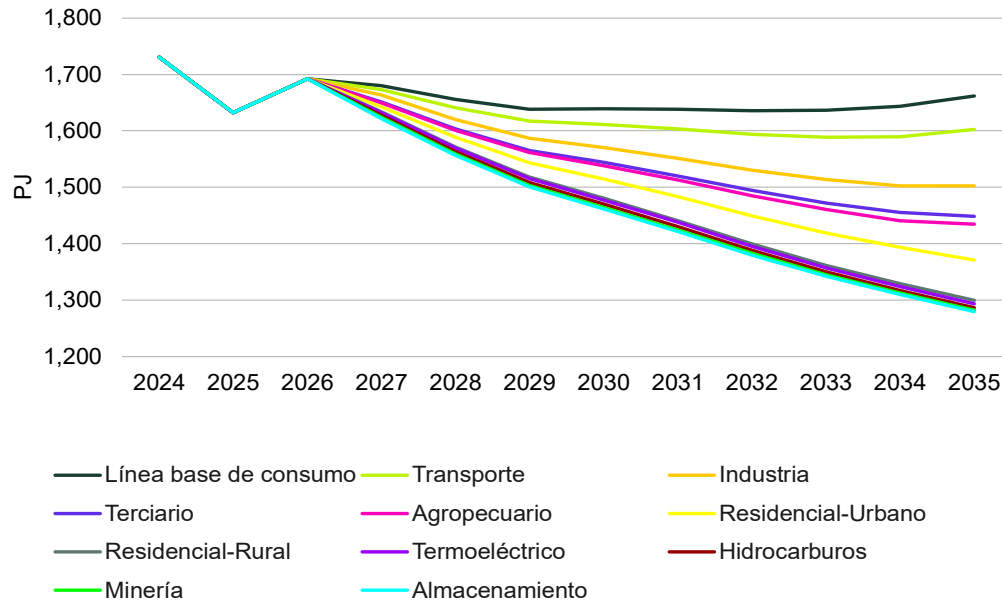
13 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

Como resultado del ejercicio de simulación de las medidas propuestas en el PAI PROURE, a continuación, se presentan los potenciales agregados de eficiencia energética, tanto en reducción de consumo de energía como de emisiones de GEI evitadas.

13.1 Resultados de las metas indicativas de eficiencia energéticas sectoriales y de la meta nacional

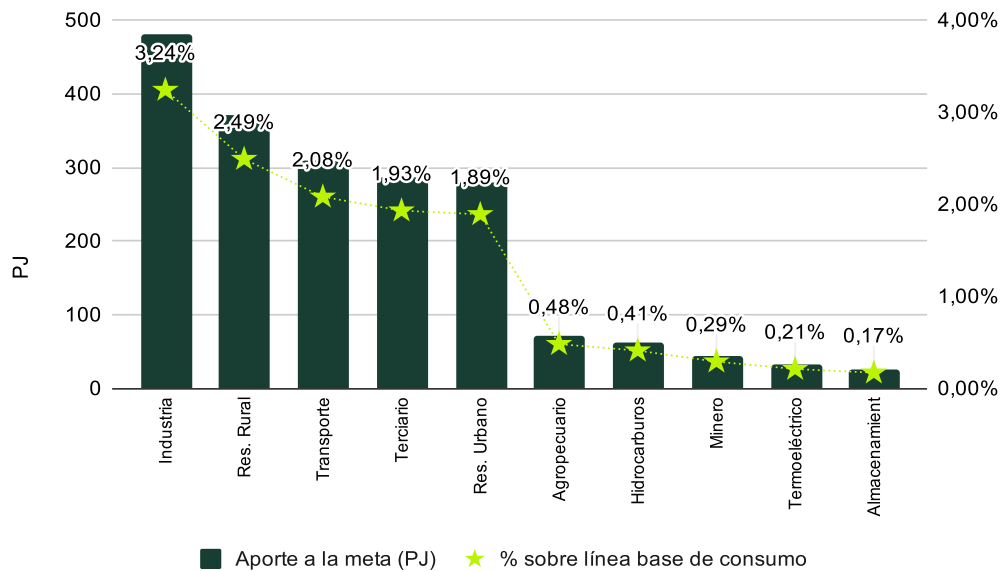
A partir del análisis de los diferentes sectores, se encontró que el potencial global de eficiencia corresponde a cerca de 1,960 PJ acumulados en el periodo 2027-2035, que se traduce en un ahorro de 13,19% frente a la línea base de consumo proyectada. Este ahorro acumulado es creciente en el tiempo y se distribuye en los 9 años del análisis según se presenta en la siguiente figura.

“ A partir del análisis de los diferentes sectores, se encontró que el potencial global de eficiencia corresponde a cerca de 1,960 PJ acumulados en el periodo 2027-2035, que se traduce en un ahorro de 13,19% frente a la línea base de consumo proyectada ”

Figura 63. Línea base de consumo y aporte PAI PROURE 2026-2035

Fuente: UPME.

En el escenario de línea base de consumo total, se observa una reducción de consumos de 0,35% promedio anual en el periodo analizado; una vez aplicadas las medidas propuestas con esta actualización del PAI PROURE, se obtiene una tasa promedio anual de reducción del consumo de energía del 2,68%, en el periodo de 2027-2035.

Figura 64. Reducción de consumo sobre la línea base por sector

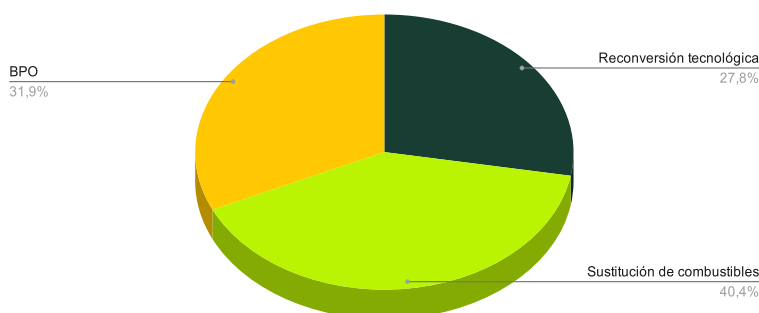
Fuente: UPME.

El ahorro energético estimado de 1.956,31 PJ para el horizonte de análisis del PAI PROURE se distribuye en los sectores de la siguiente manera: el sector industrial participa con 3,24%, el sector residencial rural con 2,49%, el sector transporte con el 2,08%, el terciario 1,93%, residencial-urbano 1,89%. Los demás sectores aportan en conjunto el 1,57%, estos sectores son: agropecuario 0,48%, la producción y transporte de hidrocarburos 0,41%, la minería 0,29%, termoeléctrico 0,21% y el almacenamiento de energía eléctrica 0,17%.

Las cifras reflejan una concentración del potencial de eficiencia en los sectores industria, residencial, transporte y terciario, cuyo aporte a la meta supera el 85 % del potencial de ahorro identificado, lo que refleja tanto su participación en el consumo energético nacional como la existencia de mayores oportunidades técnicas y económicas para incorporar medidas de eficiencia energética.

La desagregación de la meta global de ahorro por tipo de medida refleja un equilibrio entre el portafolio de soluciones de eficiencia energética: sustitución de combustibles (789 PJ), Buenas Prácticas Operacionales (624 PJ) y reconversión tecnológica (542 PJ).

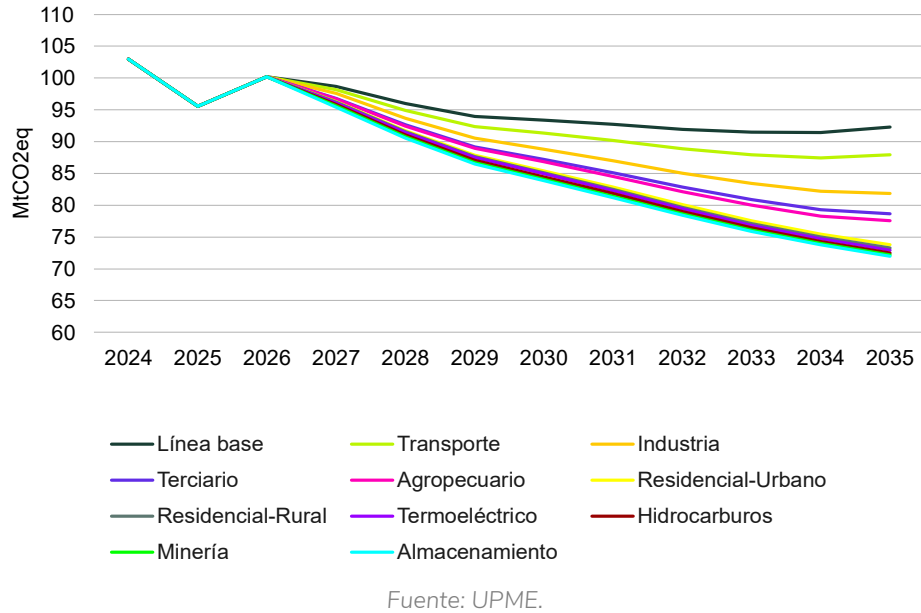
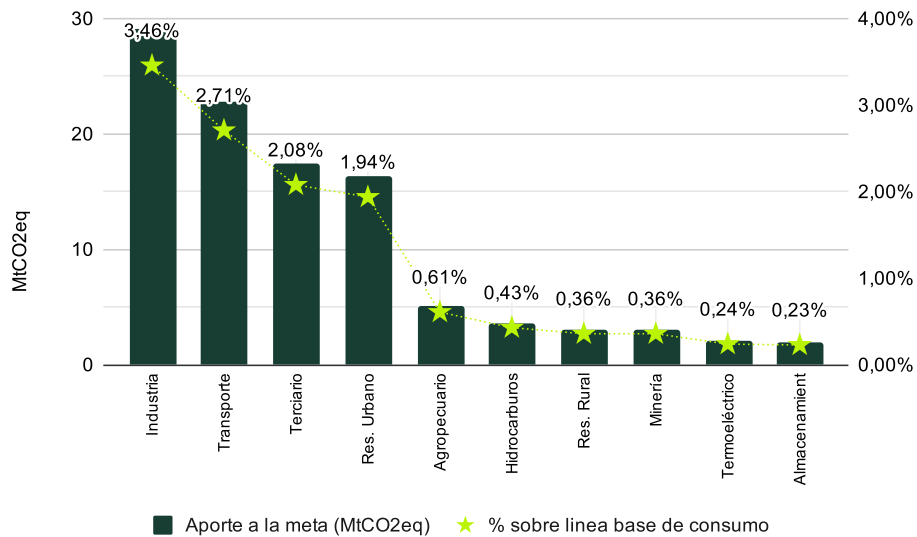
Figura 65. Distribución del potencial de ahorro energético global por tipo de medida



Fuente: UPME.

13.2 Resultados del impacto en reducción de emisiones de las metas indicativas sectoriales y de la meta nacional

El resultado en emisiones de las medidas de eficiencia energética formuladas en este Plan refleja un valor acumulado de 104,46 MtCO₂eq de emisiones evitadas en el periodo 2027-2035, lo que representa un total de 12,41% con respecto a las emisiones de la línea base.

Figura 66. Línea base de emisiones y aporte PAI PROURE 2026-2035**Figura 67. Reducción de emisiones sobre la línea base por sector**

Finalmente, se resumen los resultados de los aportes a la meta de eficiencia energética por sector y sus emisiones, y se construye la relación entre el ahorro potencial de energía y las emisiones evitadas en cada sector. Valores bajos de este indicador reflejan que pequeñas reducciones de consumo producen importantes disminuciones de emisiones, mientras que

valores altos reflejan que se requieren mayores esfuerzos de eficiencia para obtener la misma reducción de emisiones.

Tabla 30. Relación entre potenciales de reducción de energía y emisiones por sector

Sector	Aporte a la meta (PJ)	Aporte a la meta (%)	Emisiones Evitadas (MtCO ₂ eq)	Relación PJ/MtCO ₂ eq
Industria	479,80	25%	29,08	16,50
Residencial-Rural	369,93	19%	3,00	123,31
Transporte	308,03	16%	22,81	13,50
Terciario	286,29	15%	17,49	16,37
Residencial-Urbano	280,07	14%	16,37	17,11
Agropecuaria	71,17	4%	5,15	13,82
Hidrocarburos	61,08	3%	3,59	17,01
Minería	43,30	2%	2,99	14,48
Termoeléctrico	31,67	2%	2,04	15,52
Almacenamiento	24,99	1%	1,92	13,02
Total	1.956,33		104,44	260,65

Fuente: UPME.

Los resultados del análisis revelan que en el sector transporte, termoeléctrico y la producción y transporte de hidrocarburos es en donde se podría mitigar mayores emisiones con menores ahorros energéticos, lo que se explica por una reducción directa en el uso de combustibles fósiles, que son los de mayor factor de emisión. Los sectores con alta participación de energía eléctrica son en los que requieren un mayor esfuerzo en términos energéticos para reducir 1 tonelada de CO₂ (residencial, terciario). En este sentido, los menores valores del indicador se observan en los sectores de almacenamiento de energía, transporte y agropecuario, donde la reducción del consumo se concentra principalmente en combustibles fósiles. En contraste, el sector residencial rural presenta el valor más alto del indicador debido a que una proporción significativa del ahorro energético proviene de biomasa tradicional.

14 RECOMENDACIONES TRANSVERSALES PARA ACELERAR LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Además de las medidas específicas identificadas para cada uno de los sectores de consumo priorizados y analizados, se requiere el diseño y desarrollo simultáneo de un conjunto de medidas transversales orientadas a remover barreras estructurales, fortalecer capacidades institucionales y generar condiciones habilitantes que permitan acelerar la adopción de tecnologías y de prácticas operativas para la gestión eficiente de la energía en pro del cumplimiento efectivo de las metas de eficiencia energética definidas en el marco del PAI PROURE 2026–2035.

La experiencia internacional demuestra que el despliegue exitoso de políticas de eficiencia energética depende no solamente de la identificación del potencial técnico de ahorro o de la disponibilidad tecnológica, sino también de la capacidad institucional, financiera, regulatoria y territorial para facilitar su implementación efectiva. En este contexto, las siguientes medidas transversales constituyen el componente habilitador que permite materializar el potencial técnico y económico identificado en los distintos sectores analizados:

1. Desarrollar conocimiento, capacidades y cultura de consumo eficiente de energía

Fortalecer las estrategias de educación, formación, comunicación para la apropiación social del conocimiento en materia de eficiencia energética, reconociendo que, una parte significativa del potencial de ahorro energético depende directamente del comportamiento de los usuarios, de las decisiones operativas adoptadas por quienes administran procesos energéticos y del nivel de conocimiento existente de tecnologías con mejores desempeños energéticos.

Para alcanzar dicha estrategia, se proponen varios caminos: i) Diseñar y consolidar una estrategia nacional orientada a incorporar de manera estructural, criterios de gestión eficiente de la energía en la educación formal, desde la escolaridad hasta la universidad; ii) Desarrollar programas de certificación y aplicación de normas de competencia laboral en la materia, para aumentar capacidades y respuesta técnica y tecnológica especializada a los desafíos que impone la eficiencia energética; iii) Diseñar y desarrollar capacitaciones para formar gestores energéticos, especialmente en las entidades públicas; iv) Llevar a cabo campañas masivas de divulgación para

sensibilizar a usuarios residenciales, comerciales, industriales, y a entidades públicas de los niveles nacional, regional y local; y v) Desarrollar programas que fortalezcan capacidades locales y permitan generar apropiación tecnológica y cambios estructurales sostenidos en los patrones de consumo energético a largo plazo, con enfoque territorial diferenciado para adaptar las soluciones a las realidades económicas, sociales y productivas de cada región del país.

2. Promover la gestión energética empresarial

Como instrumentos permanentes de mejora continua en el desempeño energético de los distintos sectores económicos se debe fortalecer mecanismos voluntarios orientados a promover la gestión energética empresarial, la implementación de auditorías energéticas y la adopción progresiva de Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn). La experiencia internacional demuestra que una proporción significativa del potencial de eficiencia energética no depende exclusivamente de procesos de sustitución tecnológica, sino de la capacidad de las organizaciones para medir, gestionar y optimizar continuamente sus consumos energéticos a partir de decisiones operativas, ajustes en procesos productivos, mantenimiento adecuado y seguimiento permanente de indicadores de desempeño energético.

En este contexto, estándares internacionales como la norma ISO 50001 han consolidado metodologías estructuradas que permiten incorporar la gestión energética dentro de la estrategia operativa de empresas, industrias, edificaciones y organizaciones intensivas en consumo energético. Complementariamente, las auditorías energéticas constituyen una herramienta fundamental para identificar oportunidades de ahorro, cuantificar potenciales de mejora, priorizar inversiones y construir hojas de ruta de modernización energética adaptadas a las características particulares de cada organización.

En Colombia, esta línea adquiere especial relevancia a partir de iniciativas desarrolladas por la UPME en articulación con organismos internacionales como la ONUDI, a través del Programa de Evaluación Industrial (PEVI), orientado a realizar diagnósticos energéticos, identificar oportunidades de mejora energética y fortalecer capacidades técnicas empresariales o institucionales.

Hacia adelante, resulta prioritario masificar la aplicación este tipo de instrumentos mediante programas sostenidos y permanentes de auditorías energéticas y de esquemas de certificación; fortaleciendo capacidades técnicas regionales e

incentivando la adopción progresiva de sistemas de gestión energética en grandes consumidores industriales, comerciales e institucionales.

3. Modernizar el marco regulatorio y transformar los mercados

Se debe propender por el fortalecimiento de instrumentos regulatorios orientados a promover la transformación progresiva de mercados mediante estándares mínimos de desempeño energético, reglamentos técnicos y establecimiento de hojas de ruta para aplicar sistemas de etiquetado energético.

La experiencia internacional ha demostrado que una proporción importante de las mejoras estructurales en eficiencia energética observadas en sectores residenciales, comerciales e industriales no depende exclusivamente de decisiones voluntarias de inversión o de programas de incentivos económicos, sino de la existencia de marcos regulatorios que gradualmente retiren del mercado tecnologías ineficientes y orienten las decisiones de consumo hacia equipos de mayor desempeño energético.

En Colombia, el desarrollo del Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ ha permitido avanzar en la implementación de esquemas de etiquetado energético aplicables a distintos equipos consumidores de energía, generando información estandarizada que facilita decisiones informadas por parte de consumidores, empresas y entidades públicas.

De manera complementaria, otros instrumentos regulatorios como el RETILAP y otros desarrollos regulatorios recientes asociados a sistemas térmicos e instalaciones especializadas, han contribuido progresivamente a incorporar criterios de eficiencia energética dentro de diferentes segmentos tecnológicos del mercado nacional.

Hacia adelante, resulta necesario ampliar progresivamente el alcance de estos instrumentos regulatorios incorporando nuevas categorías de equipos, incluyendo algunos segmentos de vehículos y desarrollando la hoja de ruta diseñada para el sistema de etiquetado energético en edificios, fortaleciendo mecanismos de vigilancia y control, actualizando periódicamente estándares mínimos de desempeño energético e integrando criterios de eficiencia energética dentro de procesos de compras públicas, adquisiciones corporativas y programas masivos de sustitución tecnológica.

Particular relevancia adquiere la posibilidad de extender progresivamente estos mecanismos hacia equipos industriales, motores eléctricos, sistemas térmicos, edificaciones y nuevas tecnologías asociadas a electrificación y automatización.

4. Desarrollar instrumentos financieros para la eficiencia energética

Resulta importante diseñar y desarrollar instrumentos financieros especializados e innovadores, que permitan acelerar la implementación de proyectos de eficiencia energética y cerrar las brechas económicas identificadas en varias de las medidas evaluadas dentro de los análisis beneficio-costos desarrollados sectorialmente. En sectores productivos, edificaciones, pequeñas empresas y usuarios residenciales, algunas medidas presentan beneficios positivos desde la perspectiva de la sociedad, pero enfrentan barreras asociadas a altos costos iniciales de inversión, restricciones de acceso al crédito o ausencia de esquemas financieros adaptados al perfil particular de estas inversiones.

En este contexto es prioritario continuar fortaleciendo líneas de crédito verde, esquemas con garantías públicas, instrumentos de cofinanciación pública e incentivos tributarios, mecanismos ESCO, financiamiento climático internacional, esquemas de agregación de proyectos y mecanismos que permitan concurrencia entre recursos públicos y privados.

Particularmente importante será avanzar hacia instrumentos financieros territorializados que permitan adaptar soluciones de financiamiento a las características económicas particulares de gobiernos locales, pequeñas unidades productivas y territorios con menores niveles de acceso al sistema financiero tradicional.

5. Afianzar la gobernanza y la articulación institucional

Considerando que la eficiencia energética constituye una política pública cuyo alcance trasciende el sector energético e involucra múltiples sectores de la economía, resulta fundamental fortalecer los mecanismos de articulación interinstitucional y de gobernanza multisectorial para asegurar una implementación coordinada, eficiente y efectiva de las medidas contempladas en el PAI PROURE.

Dicha implementación efectiva requiere mayores niveles de coordinación entre ministerios sectoriales, entidades regulatorias, autoridades ambientales, entidades territoriales, banca pública, agencias de cooperación internacional, gremios empresariales, academia y sector privado. La eficiencia energética genera impactos simultáneos sobre competitividad industrial, productividad empresarial, desarrollo urbano, vivienda, movilidad sostenible, infraestructura pública, reducción de emisiones y seguridad energética, razón por la cual resulta necesario consolidar

mecanismos institucionales permanentes de coordinación que permitan integrar objetivos y metas de eficiencia energética dentro de otras agendas sectoriales complementarias.

Particular relevancia adquiere en este punto el fortalecimiento de mecanismos de coordinación territorial, promoviendo la incorporación progresiva de criterios de eficiencia energética dentro de planes de desarrollo territoriales, estrategias regionales de transición energética, programas de infraestructura pública y demás procesos locales de planeación económica y social.

6. Promover la eficiencia energética como herramienta estructural para la gestión de la demanda ante eventos en el sistema eléctrico, como los fenómenos de variabilidad climática

La matriz de generación eléctrica colombiana, de naturaleza predominantemente hidroeléctrica con respaldo termoeléctrico, presenta una sensibilidad significativa frente a fenómenos de variabilidad climática, particularmente durante eventos asociados al Fenómeno de El Niño, los cuales reducen la disponibilidad del recurso hídrico y pueden generar condiciones de estrechez energética. Paralelamente, los escenarios de planeación energética de largo plazo, orientados al cumplimiento de los compromisos nacionales de descarbonización y carbono neutralidad, prevén un crecimiento sostenido de la demanda de electricidad como consecuencia de la electrificación progresiva de los usos finales en sectores como el transporte, la industria y las edificaciones. En este contexto, la gestión eficiente de la energía adquiere una importancia estratégica al contribuir a moderar el crecimiento de la demanda eléctrica y a optimizar el aprovechamiento de la infraestructura existente. Desde esta perspectiva, el PAI PROURE amplía su rol estratégico para consolidarse como una herramienta de política pública que orienta acciones estructurales capaces de contribuir a mitigar condiciones de estrechez energética mediante la reducción y optimización del consumo eléctrico, especialmente en los sectores de la demanda como el residencial, industrial y terciario, que concentran el 70% del consumo nacional de electricidad. De esta manera, la eficiencia energética se posiciona como un recurso complementario clave del sector eléctrico para disminuir la presión del sistema en períodos críticos, optimizando el uso de la infraestructura existente.

En el corto plazo, adquieren especial relevancia las medidas de rápida implementación, basadas en buenas prácticas operacionales, optimización de procesos, mantenimiento preventivo, gestión eficiente del consumo, las cuales permiten obtener reducciones inmediatas de la demanda sin requerir inversiones significativas. Estas acciones pueden implementarse con mayor agilidad durante

escenarios de estrechez energética y contribuir a reducir los consumos evitables, particularmente en usuarios con mayor capacidad de gestión de su demanda, y potencian su alcance mediante estrategias de educación, información y sensibilización focalizada.

En el mediano y largo plazo, las acciones deben complementarse con programas permanentes de reconversión tecnológica, sustitución de equipos y energéticos por alternativas de mayor desempeño energético, electrificación eficiente de los usos finales, adopción de Sistemas de Gestión de la Energía, fortalecimiento de auditorías energéticas y desarrollo progresivo de mecanismos de respuesta de la demanda, gestión activa del consumo, infraestructura avanzada de medición y digitalización energética.

A partir de los potenciales de ahorro de energía eléctrica identificados en el presente PAI PROURE se propone desarrollar un documento de análisis, con énfasis en los sectores de mayor consumo eléctrico (residencial, terciario e industrial), que permita evidenciar la contribución de las medidas de eficiencia energética en la mitigación de los impactos en eventos de corto plazo, como el fenómeno de El Niño 2026 – 2027, y otras condiciones que puedan comprometer la seguridad y suficiencia del sistema eléctrico.

7. Impulsar la flexibilidad energética mediante la gestión activa de la demanda

La transformación tecnológica del sector energético está modificando la forma en que se produce, consume y gestiona la energía, permitiendo evolucionar desde modelos tradicionales de gestión de la demanda hacia esquemas más dinámicos, flexibles e inteligentes.

La expansión gradual de infraestructura de medición avanzada, sistemas de submedición, automatización, inteligencia artificial aplicada a gestión y analítica energéticas permite evolucionar desde enfoques tradicionales centrados exclusivamente en sustitución tecnológica hacia modelos dinámicos de optimización continua del consumo energético, incrementar la flexibilidad operativa del sistema energético y facilitar una mayor participación de los usuarios en la optimización del consumo de energía.

En este contexto resulta estratégico promover programas regulatorios e instrumentos de mercado que permitan desarrollar esquemas de respuesta de demanda, agregación de cargas, gestión activa del consumo, flexibilidad energética y administración inteligente de consumos eléctricos, particularmente en grandes

consumidores industriales, comerciales y usuarios con capacidad de modificar patrones horarios de demanda. Este enfoque adquiere especial relevancia en un contexto de creciente electrificación, expansión de generación renovable variable y necesidad de mejorar la flexibilidad operativa del sistema energético nacional.

Complementariamente, deben promoverse programas piloto regionales que permitan evaluar esquemas diferenciados de gestión activa de demanda adaptados a condiciones particulares de distintos territorios y tipos de usuarios.

Para ello, deberán impulsarse estrategias de capacitación, divulgación y apropiación tecnológica que faciliten la comprensión de los mecanismos de respuesta de demanda, el aprovechamiento de la infraestructura de medición avanzada y la adopción de herramientas digitales para la gestión eficiente del consumo, favoreciendo una participación informada y efectiva de usuarios, prosumidores y agregadores en los mercados de flexibilidad energética.

8. Desarrollar mecanismos de monitoreo, reporte y verificación (MRV).

Uno de los principales desafíos históricos asociados no solo a las políticas de eficiencia energética, sino en general a las políticas públicas, ha sido precisamente la limitada disponibilidad de información sistemática que permita verificar resultados reales de implementación, cuantificar de manera precisa los ahorros efectivamente alcanzados, y mejorar progresivamente la calidad de la información utilizada en procesos de planeación energética.

En este contexto resulta prioritario evaluar y diseñar sistemas de información energética que permitan construir indicadores sectoriales dinámicos, fortalecer líneas base sectoriales, desarrollar protocolos de medición y verificación de ahorros energéticos, implementar mecanismos estandarizados de reporte por parte de usuarios estratégicos y construir sistemas de seguimiento que permitan identificar diferencias regionales en la implementación de las medidas.

La consolidación de sistemas robustos de MRV no solo fortalece la calidad y transparencia de la política pública de eficiencia energética, sino que constituye una condición habilitante para la toma de decisiones basada en evidencia, la actualización periódica de las estrategias del PROURE y la priorización de inversiones en esta materia. Asimismo, facilita el acceso a mecanismos de financiamiento climático, el desarrollo de esquemas de certificación y reconocimiento de ahorros energéticos, y fortalece la trazabilidad de los recursos públicos y privados movilizados para este tipo de proyectos.

La implementación progresiva de plataformas de seguimiento permitirá alimentar de manera continua estos sistemas de información, mejorando la disponibilidad de datos sobre patrones de consumo, indicadores de desempeño energético y potenciales reales de ahorro, consolidando así una base técnica que facilite la evaluación permanente de las políticas y la mejora continua de la gestión eficiente de la energía en el país.

Estas medidas transversales constituyen el ecosistema habilitador fundamental que permitirá materializar el potencial técnico y económico identificado en los análisis sectoriales del presente documento. La transición hacia una economía energéticamente más eficiente no depende exclusivamente de la incorporación de tecnologías más eficientes, sino del desarrollo simultáneo de capacidades humanas, instrumentos financieros, mecanismos regulatorios o voluntarios, articulación institucional, capacidades territoriales y sistemas de información que permitan acelerar la implementación efectiva de las medidas priorizadas, evidenciando así la eficiencia energética como uno de los pilares estructurales de la transición energética colombiana.

15 RECOMENDACIONES DE MEDIDAS Y ACCIONES PRIORIZADAS PARA INCENTIVOS TRIBUTARIOS

De acuerdo con los análisis realizados en el marco del PAI PROURE, las medidas y acciones de eficiencia energética recomendadas para acceder a los incentivos tributarios previstos en la Ley 2099 de 2021 se presentan en la Tabla 31.

Como se evidencia en dicho análisis, las medidas corresponden a estrategias de carácter general que pueden agrupar diversas acciones de eficiencia energética; por tanto, el listado presentado no constituye, en ningún caso, una relación exhaustiva de tecnologías. La definición específica de las tecnologías susceptibles de acceder a los incentivos tributarios se realiza posteriormente mediante el proceso de reglamentación expedido por la UPME, en cumplimiento de lo establecido en la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021.

Tabla 31. Medidas y acciones de eficiencia energética priorizadas

Sector	Medida	Acciones
Industrial	Sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada)	- Realizar auditorías energéticas a edificaciones de cualquier tipo. - Realizar auditoría energética a cualquier proceso productivo. - Diseñar e implementar sistema de GE bajo la norma NTC ISO 50001 (Incluye, determinación línea base, de ahorro y buenas prácticas en la operación). - Contratar servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. - Contratar servicios para la certificación de la norma ISO 50001. - Adquirir equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001. - Adquirir medidores inteligentes para cualquier tipo de usuario final - Adquirir equipos de submedición para equipos de uso final en cualquier sector productivo.

Sector	Medida	Acciones
		Adquirir equipos de control, monitoreo y automatización de procesos en cualquier sector productivo
	Realizar la optimización de la combustión calor indirecto	- Adquirir equipos necesarios para la reducción de presión del vapor, y reducir las pérdidas por hollín e incrustaciones, optimizar las purgas. - Adquirir aislamientos, - Adquirir equipos para el control de combustión, optimizar exceso de aire - Reemplazar quemadores
	Aislamientos Térmicos Internos y Externos y aislamiento de equipos con resistencia eléctrica de calefacción y actualización de los aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, recuperación de condensados, control de fugas.	- Reemplazar o incorporar aislamientos térmicos, aislamiento de válvulas, codos y demás accesorios, control de fugas, recuperación de condensados. - Sustituir y adquirir aislamientos Térmicos Internos y Externos
	Sistema de generación de vapor (Gas natural, carbón) con bombas de calor	Adquirir equipos para implementar bombas de calor con el propósito de reforzarla generación de vapor.
	Recuperación de Calor, control de fugas, precalentamiento del aire de combustión	- Adquirir equipos para realizar control de fugas - Adquirir equipos para la recuperación de calor - Adquirir equipos para el precalentamiento del Aire de combustión
	Buenas prácticas en la operación, mantenimiento de equipos; Fuerza motriz, calor directo e indirecto	- Adquirir equipos para la optimización de quemadores - Adquirir equipos para la optimización de la combustión - Adquirir equipos para realizar buenas prácticas en la operación y mantenimiento del sistema de aire comprimido y control de fugas - Adquirir variadores de frecuencia en ventiladores y bombas - Adquirir variadores de frecuencia en otros motores, bandas transportadoras, molinos, proceso, entre otros. - Sustituir y adquirir motores eficientes - Adquirir equipos necesarios para buenas en la operación y mantenimiento del sistema de aire comprimido y control de fugas

Sector	Medida	Acciones
		- Adquirir variadores y equipos de automatización - Adquirir equipos para realizar actividades de reducción de la presión de descarga del compresor
	Sistema de generación de vapor (Gas natural, carbón) con caldera eléctrica	Adquirir e implementar sistemas de generación de vapor con caldera eléctrica
	Sustitución de hornos a combustión (carbón) por hornos eléctricos de alta eficiencia	Adquirir hornos eléctricos de alta eficiencia
	Economizador para calderas de más de 1000 BHP (Gas natural, biomasa, carbón)	Adquirir economizadores para calderas de más de 1000 BHP
	Implementación de distritos energéticos	Adquirir equipos que permitan la implementación de distritos térmicos de calor y de frío, tales como: Chiller eléctrico eficiente y de absorción; motores de combustión interna o microturbinas para generación de electricidad; sistemas de bombeo e intercambiadores de calor
	Cogeneración para procesos térmicos y eléctricos	Adquirir equipos para generación de electricidad vía térmica con recuperación de calor para producción de vapor y sistemas de distribución tanto de electricidad como de energía térmica
	Sustitución de motores por eficientes	Adquirir motores de alta eficiencia, tales como los de imanes permanentes o motores IE4, o IE5.
	Realizar la optimización tecnológica y control avanzado del sistema de refrigeración	- Adquirir equipos de automatización y calibración de setpoint de temperaturas de proceso - Adquirir equipos necesarios para la optimización tecnológica y control avanzado del sistema de refrigeración - Adquirir equipos para realizar la optimización mediante variación de velocidad en compresores, ventiladores y bombas - Adquirir equipos para mantenimiento, puesta a punto del sistema, ajuste de la temperatura del evaporador y condensador, control de fugas y aislamiento de tuberías - Adquirir equipos para realizar actividades de control y ajuste de subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración comercial

Sector	Medida	Acciones
		Adquirir equipos para optimizar la presión de descarga del compresor y para realizar actividades de control de la presión de succión y automatización del proceso
	Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental y sistemas con componentes de alta eficiencia	- Adquirir equipos y sistemas de refrigeración de alta eficiencia paquete de compresor y condensador - Adquirir compresores de alta eficiencia - Adquirir equipos de control y automatización de refrigeradores - Drop-in para sistemas de refrigeración a un refrigerante con un GWP menor a 600 - Adquirir sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)
Residencial-Urbano	Renovación de equipos de uso final	- Adquirir neveras etiqueta A - Adquirir equipos de uso final (electrodomésticos) de alta eficiencia - Contratar y adquirir equipos para la normalización y adecuaciones eléctricas de acometidas internas - Adquirir quemadores de mayor eficiencia
	Mejora de eficiencia en la cocción en ciudades	Sustituir estufas de gas por estufas eléctricas convencionales con cambio de menaje
		Sustituir cocción de gas por estufas de inducción con cambio de menaje
		Sustituir cocción de leña por estufas de GLP
	Equipo de aire acondicionado eficiente etiqueta A	Actualizar equipos de aire acondicionado más eficiente de etiqueta tipo A
	Actualización de los sistemas de ventilación	Adquirir ventiladores de alta eficiencia
	Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	- Adquirir luminarias LED - Adquirir equipos de dimerización y control de iluminación
	Promoción de consumo inteligente Acciones	Adquirir e instalar medidores inteligentes
	Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos.	Adquirir equipos que permitan la automatización del uso de equipos en el hogar
	Medidas pasivas construcción sostenible	- Contratar servicios de diseño bioclimático para el aprovechamiento de sol y viento - Adquirir materiales y elementos para el aislamiento de cubierta y muros

Sector	Medida	Acciones
		exteriores que permita regular la temperatura al interior del edificio • Adquirir equipos y estructuras de control solar en vidrios • Adquirir elementos o componentes para implementar ventilación natural
Residencial-Rural	Renovación de equipos de uso final	• Adquirir neveras etiqueta A • Adquirir equipos de uso final (electrodomésticos) de alta eficiencia. • Normalización y adecuaciones eléctricas de acometidas internas. • Adquirir quemadores de mayor eficiencia
	Mejora de eficiencia en la cocción rural	• Sustituir estufas de gas por estufas eléctricas convencionales
		• Sustituir cocción de gas por estufas de inducción.
		• Sustituir cocción de leña por estufas de GLP
		• Sustituir cocción de leña por estufas de Gas natural
		• Sustituir cocción de leña por estufas de Biogás/Biometano
	Equipo de aire acondicionado eficiente etiqueta A	• Actualizar equipos de aire acondicionado más eficiente de etiqueta tipo A • Adquirir e implementar sistemas de medición y control de aire acondicionado
	Actualización de los sistemas de ventilación	• Adquirir ventiladores de alta eficiencia
	Iluminación eficiente y sistemas de control y automatización en iluminación	• Adquirir luminarias LED • Dimerización y control de iluminación • Adquirir equipos de control de iluminación en zonas comunes
	Promoción de consumo inteligente Acciones	• Adquirir e instalar medidores inteligentes
	Implementación de sistemas de automatización en equipos ofimáticos.	• Adquirir equipos que permitan la automatización del uso de equipos en el hogar
	Medidas pasivas construcción sostenible	• Contratar servicios de diseño bioclimático para el aprovechamiento de sol y viento • Adquirir materiales y elementos para el aislamiento de cubierta y muros exteriores que permita regular la temperatura al interior del edificio. • Adquirir equipos y estructuras de control solar en vidrios

Sector	Medida	Acciones
		Adquirir elementos o componentes para implementar ventilación natural
Terciario	Sustitución de gas por energía eléctrica en procesos de calor directo (hornos eléctricos con recirculación de aire y control programable y estufas de inducción).	- Adquirir estufas de inducción para establecimientos del sector terciario: comercial y público - Adquirir hornos eléctricos con recirculación de aire y control para establecimientos del sector terciario: comercial y público
	Construcción sostenible (medidas para el aprovechamiento de luz solar, medidas para mejoramiento de confort térmico y operación de equipos)	- Contratar servicios de diseño bioclimático para el aprovechamiento de sol y viento - Adquirir materiales y elementos para el aislamiento de cubierta y muros exteriores que permita regular la temperatura al interior del edificio - Adquirir equipos y estructuras de control solar en vidrios - Adquirir elementos o componentes para implementar ventilación natural
	Implementación de AMI	- Adquirir medidores inteligentes para cualquier tipo de usuario final - Adquirir equipos de submedición para equipos de uso final - Adquirir equipos de control, monitoreo y automatización de procesos
	Implementación de sistemas de digitalización, submedición y control en sistemas de climatización.	- Realizar control de operación y Realizar la optimización de sistemas de climatización - Implementar tecnologías para la optimización de energía, control, enfriamiento evaporativo y freecooling
	Equipos de climatización de alta eficiencia	- Cambio de sistemas tipo Split individuales, y autocontenidos por sistemas centralizados - Vigas frías
	Mejoras en eficiencia en iluminación LED, dimerización y control de la iluminación	- Adquirir luminarias LED 120 lum/Wn o mayor eficiencia (eficacia lumínica) - Adquirir sistemas de iluminación y control DLCS - Adquirir sistemas de dimerización
	Equipos y sistemas de enfriamiento de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental para refrigeración y climatización	- Adquirir sistemas de automatización y control - Adquirir sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador - Adquirir sistemas de refrigeración con bajo GWP (<100GWP)

Sector	Medida	Acciones
		- Sustituir sistemas tipo Split individuales, y autocontenidos por sistemas centralizados - Adquirir sistemas con componentes de alta eficiencia, paquete de compresor y condensador - Adquirir intercambiadores de calor para sistemas de HVAC y recuperación de calor en sistemas de aire acondicionado. - Vigas frías
	Realizar la optimización de refrigeración y climatización en el sector comercial	Adquirir equipos para control de operación, fugas y mejora de aislamiento de sistemas de refrigeración
	Sistemas de automatización y control en equipos ofimáticos	Adquirir equipos que permitan la automatización del uso de equipos
	Sistema Integral de la energía (gestión, monitoreo, control, automatización e implementación de submedición avanzada)	- Contratar servicios de auditorías energéticas a edificaciones de cualquier tipo. - Contratar servicios de auditoría energética a cualquier proceso productivo. - Contratar servicios de diseño e implementar sistema de GE bajo la norma NTC ISO 50001 (Incluye, determinación línea base, de ahorro y buenas prácticas en la operación) - Contratar servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001 - Contratar servicios de certificación de la norma ISO 50001 - Adquirir equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001
	Implementación de distritos energéticos	Adquirir equipos que permitan la implementación de distritos térmicos de calor y de frío, tales como: chillers eléctricos eficientes y de absorción, motores de combustión interna o microturbinas para generación de electricidad, sistemas de bombeo eléctrico, intercambiadores de calor, entre otros equipos
	Adquisición y reemplazo de aislamiento de equipos con resistencia eléctrica de calefacción	Adquirir aislamientos para equipos con resistencia eléctrica de calefacción

Sector	Medida	Acciones
	Telegestión y control centralizado en sistemas de alumbrado público	Adquirir equipos de control y telegestión para alumbrado público
	Buenas prácticas y mantenimiento de equipos	Mantenimiento y reposición de aislamientos
	Equipos de fuerza motriz de alta eficiencia	Adquirir motores y variadores de alta eficiencia
Agropecuario	Reemplazo de motores diésel y gasolina por motores eléctricos en aplicaciones estacionarias en el sector APAI. (Diésel en fuerza motriz)	Adquirir motores eléctricos para aplicaciones estacionarias
	Aprovechamiento de la energía solar obtenida a partir de calentadores solares para aplicaciones en el sector APAI. (GLP calor directo/Energía eléctrica)	Adquirir calentadores solares de agua
	Implementación de unidades condensadoras en cuartos fríos del sector APAI, con compresor con variador, y válvula de expansión electrónica con control de sistemas.	Adquirir unidades condensadoras de alta eficiencia para actividades del sector agropecuario
	Implementación de sistemas de control inteligente para aplicaciones de climatización en el sector APAI	Adquirir equipos y sistemas de control inteligente en climatización
	Equipos de refrigeración de alta eficiencia	Adquirir equipos de refrigeración con etiqueta A
Transporte	Mejoramiento de la eficiencia vehicular	Adquirir vehículos nuevos híbridos HEV y PHEV: Automóvil, Campero, Camioneta, Taxi, Camión
	Sustitución de combustibles líquidos por vehículos eléctricos	- Adquirir vehículos eléctricos nuevos - BEV-: Automóvil, Campero, Camioneta, Taxi, Motocicleta, Microbús, Bus, Buseta, Camión, Tractocamión - Adquirir equipos para la recarga de vehículos eléctricos en cualquier categoría
	Sustitución de combustibles líquidos por vehículos de GNV en transporte de carga y pasajeros	Adquirir vehículos nuevos GNV: Bus, Camión, Tractocamión
	Digitalización en Transporte logístico y masivo de pasajeros	- Adquirir equipos para Implementar protocolos/sistemas de Eco-driving: Transporte Masivo de Pasajeros y Transporte de Carga. - Adquirir equipos para sistemas de gestión de flotas (Fleet Management)

Sector	Medida	Acciones
		Systems – FMS): Transporte Masivo de Pasajeros y Transporte de Carga • Adquirir equipos para protocolos o sistemas de Eco-routing: Transporte Masivo de Pasajeros y Transporte de Carga • Adquirir equipos para optimización digital de rutas: Transporte Masivo de Pasajeros y Transporte de Carga
	Transferencia de carga y pasajeros al sistema férreo eléctrico	• Construir sistemas férreos eléctricos para el transporte de pasajeros o carga. • Construir sistemas de cable eléctricos para el transporte de pasajeros.
	Navegación aérea basada en desempeño	• Adquirir equipos para aplicar el marco reglamentario que habilita la navegación aérea basada en el desempeño. • Adquirir equipos para rediseño de las rutas aéreas aprovechando el conjunto de sistemas globales de navegación por satélite. • Adquirir infraestructura tecnológica con estándares de alta eficiencia energética
	Electrificación de los motores fuera de borda en sistemas de navegación fluvial	• Adquirir motores fuera de borda eléctricos. • Adquirir baterías para los sistemas de navegación fluvial. • Adquirir infraestructura de carga para los sistemas de navegación fluvial.
	Transferencia de carga al sistema fluvial	• Construir sistemas fluviales para el transporte de carga.
Hidrocarburos	Sistemas de gestión de la energía	• Implementar sistemas de gestión de la energía • Contratar servicios de auditorías energéticas • Adquirir medidores para la submedición en los equipos de uso final.
	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	• Adquirir equipos de digitalización y control avanzado de procesos • Adquirir equipos para detección y reparación de fugas o recuperación de vapor.
	Gestión operativa de la eficiencia térmica	• Adquirir o remplazar aislamientos térmicos en equipos, tuberías y accesorios para reducir pérdidas de energía • Adquirir equipos necesarios para optimizar la relación aire combustible, en la combustión.

Sector	Medida	Acciones
		Adquirir equipos necesarios para la recuperación de la corriente de gas en procesos de deshidratación de glicol
	Realizar la optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	- Electrificar y reemplazar equipos por tecnologías eléctricas eficientes - Adquirir equipos para la optimización hidráulica - Adquirir sistemas de enfriamiento central en lugar de sistemas individuales.
	Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	- Adquirir equipos para recuperar las corrientes de gas combustible a partir de gas de tea - Adquirir equipos para recuperar las corrientes de gas combustible a partir de equipos de control de vapor para recuperación de gas - Adquirir equipos para generación de energía eléctrica por aprovechamiento del gas recuperado. - Adquirir sistemas de Ciclo Rankine Orgánico para recuperar calor residual de motores y turbinas - Adquirir equipos para ciclo STIG para recuperar la energía de los gases de las turbinas de gas. - Adquirir equipos para la producción de energía eléctrica por caída de presión de crudo
Minero	Sistemas de Gestión de la Energía	- Implementar sistemas de gestión de la energía - Contratar servicios de auditorías energéticas - Adquirir medidores para la submedición en los equipos de uso final.
	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	- Adquirir equipos de digitalización y control avanzado de procesos - Adquirir equipos para la optimización de aislamientos térmicos en equipos, tuberías y accesorios para reducir pérdidas de energía. - Adquirir sistemas de gestión de despacho y carga de minerales - Adquirir equipos para mitigar distorsión armónica
	Realizar la optimización de la combustión y procesos de recuperación de calor	- Adquirir equipos para la recirculación de fino en los calcinadores - Adquirir equipos para optimizar cámara de combustión

Sector	Medida	Acciones
		- Implementar cogeneración a partir de gases residuales - Adquirir equipos que permitan el uso de gases residuales calientes del proceso
	Electrificación de fuerza motriz	Electrificar y reemplazar equipos por tecnologías eléctricas eficientes
	Realizar la optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	- Adquirir perforadoras autónomas/remotas y camiones autónomos - Aumento del factor de carga de material - Adquirir correas de transporte de material regenerativas - Adquirir de correas móviles gearless
	Electrificación de la operación	- Adquirir maquinaria amarilla con motores eléctricos - Adquirir camiones de mina eléctricos - Adquirir Trolley Assist y/o equipamientos necesarios para su implementación. - Adquirir bandas transportadoras para sustituir transporte con diésel
Termoeléctrico	Sistemas de Gestión de la Energía	- Implementar de sistemas de gestión de la energía - Implementar de Auditorías Energéticas - Adquirir medidores para la submedición en los equipos de uso final
	Programas de operación y mantenimiento orientados a la eficiencia energética	- Adquirir equipos de digitalización y control avanzado de procesos - Adquirir o reemplazar aislamientos térmicos en equipos tuberías y accesorios para reducir pérdidas de energía
	Recuperación y aprovechamiento energético para consumo en procesos internos	- Adquirir equipos para la recuperación de calor residual y de purga - Adquirir equipos centrífugos para mejorar la operación
	Realizar la optimización de procesos y reemplazo de equipos por tecnologías más eficientes	- Adquirir sistemas de recirculación de aire residual de escape - Adquirir equipos para mejorar rampas de operación
	Realizar la optimización de los procesos de combustión	- Adquirir equipos para mejorar sistemas de transferencia de calor. - Adquirir sistemas de limpieza continua
Almacenamiento de energía eléctrica	Almacenamiento de energía eléctrica	Implementar sistemas de almacenamiento de energía eléctrica a escala de red

Fuente: UPME.

BIBLIOGRAFÍA

ACP (2025a). Informe de Desempeño Ambiental Sector de Hidrocarburos (E&P) años 2023 - 2024. <https://acp.com.co/portal/download/informe-de-desempeno-ambiental-sector-de-hidrocarburos-ep-anos-2023-2024/>

ACP (2025b). Tendencias de inversión en exploración y producción (E&P) de petróleo y gas en Colombia 2024 y perspectivas 2025: un sector estratégico en estado crítico. <https://acp.com.co/portal/download/informe-economico-tendencias-de-inversion-ep-en-petroleo-y-gas-2024-y-perspectivas-2025/?wpdmdl=32906&refresh=6a059169c536e1778749801>

ANH (2024). Estadísticas de Producción fiscalizada de petróleo y gas. <https://www.anh.gov.co/es/operaciones-y-regal%C3%ADas/sistemas-integrados-operaciones/estad%C3%ADsticas-de-producci%C3%B3n/>

BID (2026). Energía flexible para el futuro: integración del almacenamiento en el sistema eléctrico colombiano. <https://publications.iadb.org/es/energia-flexible-para-el-futuro-integracion-del-almacenamiento-en-el-sistema-electrico-colombiano>

BloombergNEF (2022). Increase in Battery Prices Could Affect EV Progress. https://about.bnef.com/insights/clean-energy/increase-in-battery-prices-could-affect-ev-progress/?utm_source=chatgpt.com

CCCS (2024). Estado de la construcción sostenible 2024. <https://www.cccs.org.co/mitigacion/estado-de-la-construccion-sostenible/>

CCCS (2024). Hoja de ruta nacional de edificaciones neto cero carbono. https://www.cccs.org.co/wp-content/uploads/2023/03/Hoja_de_Ruta_ENCC_compressed.pdf

DNP. (2023). CONPES 4129. Bogotá.

DNP. (2024). Balance de resultados PND 2022-2026. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/sites/CDDNP/Sinergia/2025/Balance_de_Resultados_PND_2024_Version_final_30042025.pdf#page=36&zoom=100,109,233

Enel (2025). BESS Termozipa: el innovador proyecto de almacenamiento de energía de Enel Colombia. <https://www.enel.com.co/es/historias/a202203-almacenamiento-de-energia-en-bess-termozipa.html>

Electrived (2024). EV batteries now cost 115 USD per kWh on average - electrived.com. https://www.electrived.com/2024/12/11/ev-batteries-now-cost-115-usd-per-kwh-on-average/?utm_source=chatgpt.com

ENDISTRIC (2025b). Análisis de factibilidad técnica y financiera de una solución de energía distrital en las instalaciones de la DIAN en Cali, Colombia. https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2025/08/4.-DT_DIAN_Cali_ESP_VF.pdf

ENDISTRIC (2025c) Análisis de factibilidad técnica y financiera de una solución de energía distrital en instalaciones de la Clínica Primavera en Villavicencio, Colombia. https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2025/08/8.-DT_Clinica-Primavera_Villavicencio_ESP_VF.pdf

IEA (2017). Digitalization and energy. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>

IEA (2019). Innovation Gaps <https://www.iea.org/reports/innovation-gaps>, Licence: CC BY 4.0

IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>

IEA (2024), Contribución de los elementos clave para reducir las emisiones relacionadas con la energía en el escenario de plena implementación de la COP28, 2023-2035, IEA, París <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/contribution-of-key-elements-to-reduce-energy-related-emissions-in-the-cop28-full-implementation-case-2023-2035>, Licencia: CC BY 4.0

IEA (2025) Energy Efficiency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/23a80bb2-6985-4507-ab99-c1d700f6548b/EnergyEfficiency2025.pdf>

Lawrence Berkeley National Laboratory (2021). Electrification of Boilers in U.S. Manufacturing. Disponible en :

<https://static1.squarespace.com/static/5877e86f9de4bb8bce72105c/t/62fb89dfb827c92c3340eed9/1660652049933/Boiler+Electrification-final+Rev2.pdf>

Ministerio de Minas y Energía (2024). Decreto 977 de 2024: Por el cual se reglamenta el artículo 231 de la Ley 2294 de 2023 y se adiciona el Capítulo 12, al Título V, de la Parte 2, del Libro 2 del Decreto 1073 de 2015, en relación con la identificación, priorización, delimitación e implementación de los Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=246896>

Ministerio de Minas y Energía (2023). Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas - RETSIT. Resolución 40773 del 29 de diciembre de 2023

<https://normativame.minenergia.gov.co/normatividad/6837/norma/>

Ministerio de Minas y Energía (2026). Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ. Resolución 40285 del 23 de junio de 2026

https://www.minenergia.gov.co/documents/15915/Anexo_General.pdf

Ministerio de Minas y Energía (2026). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP. Resolución 40286 del 23 de junio de 2026.

https://www.minenergia.gov.co/documents/15917/Resoluci%C3%B3n_Modificatoria_RETILAP_2026_Versi%C3%B3n_Final_Numerada_Compilada.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2025). Contribución Determinada a Nivel Nacional-NDC 3.0 Colombia.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2025).

<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0194-2025>

NESP. (2023). Manual de práctica estándar nacional para el análisis de costo-beneficio de los recursos de energía distribuida (NSPM para DER)

PROCOLOMBIA (2025). https://investincolombia.com.co/es/sectores/tecnologia-de-la-informacion-e-industrias-creativas/centros-de-datos?utm_source=chatgpt.com

UPME (2025). Balance Energético Colombiano.

<https://www.upme.gov.co/simec/planeacion-energetica/balance-minero-energetico-colombiano/>.

UPME (2025). PEN 2022-2052.

UPME (2025). PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MAXIMA 2024-2038.

UPME- BECO 2025 datos 2024).

<https://www.upme.gov.co/simec/oferta-y-demanda/balance-minero-energetico-colombiano>

UPME. (2025). PEN 2024-2054.

https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF1_PEN_2024-2054_Tomo_I.pdf

UPME-CORPOEMA. (2014). determinación y priorización de alternativas de eficiencia energética para los subsectores manufactureros códigos CIIU 19 a 31 en Colombia a partir de la caracterización del consumo energético para sus diferentes procesos, usos y equipos de uso final. Bogotá.

UPME-CORPOEMA (2022). Caracterización del sector terciario.

UPME-CORPOEMA. (2024). Caracterización del consumo final de energía en los sectores agropecuario y agroindustrial.

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Doc_Hemeroteca/Informe_final_Caracterizacion_energetica_AGRO_Version_final.pdf.

UPME-CORPOEMA. (2025). Estimar los potenciales, metas y medidas asociadas de eficiencia energética de los sectores agropecuario y agroindustrial y realizar su respectivo análisis beneficio costo, a partir de la caracterización energética del 2023. Bogotá.

UPME-INCOMBUSTION. (2014). Determinación del potencial de reducción del consumo energético en los subsectores manufactureros códigos CIIU 10 a 18 en Colombia. Bogotá.

UPME-MITSIDI CORPOEMA. (2025). Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia. Bogotá.

UPME-MITSIDI CORPOEMA (2025). Plan Nacional de Innovación y Tecnología (PNIT) en eficiencia energética para la climatización y refrigeración en Colombia.

UPME CEELA (2025) Línea base de desempeño energético de edificaciones residenciales y de oficinas de Colombia.

https://www1.upme.gov.co/Documents/Coop_internacional/3_CEELA/Informe_No3_CEELA_ColombiaV2.pdf

UPME UIS Min Ciencias (2020). Lineamientos técnicos para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones en Colombia a partir de simulaciones energéticas.

XM (2026). Sinergox.

Yañez, E., Ramírez, A., Uribe, A., Castillo, E., & Faaij, A. (2017). Unravelling the potential of energy efficiency in the Colombian oil industry.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617330226>

ANEXO 1. ENFOQUE DEL NATIONAL STANDARD PRACTICE MANUAL (NSPM-NESP), ADAPTADO AL CONTEXTO INSTITUCIONAL, REGULATORIO Y ENERGÉTICO COLOMBIANO

Dentro de las bondades de esta metodología, está la de permitir evaluar medidas de diferentes tipos y efectos: gestión eficiente de la demanda, electrificación sostenible de usos finales, sustitución de combustibles fósiles, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, impactos en salud, entre otros.

Como ya se mencionó el análisis se realiza desde tres perspectivas o puntos de vista: i) el usuario o beneficiario directo de la medida; ii) el sistema energético, entendido como el conjunto de agentes e infraestructura que participan en la cadena de suministro de los energéticos; y iii) la sociedad, incorporando las externalidades y beneficios colectivos asociados a la implementación de las medidas. Este enfoque permite identificar la distribución de costos y beneficios entre los diferentes actores, valorar con tasa de descuento diferentes el efecto que perciben y valorar co-beneficios y externalidades que se escapan a las ópticas más comunes usadas en el análisis financiero y es cómo el tomador de decisión genera impactos adicionales a los que él percibe.

La metodología se aplica a las medidas de eficiencia, identificadas para cada sector y su aplicación permite:

- Evaluar la conveniencia económica y social de las medidas propuestas.
- Comparar alternativas tecnológicas o de intervención para el cumplimiento de objetivos de política pública.
- Identificar medidas costo-beneficios para alcanzar metas de ahorro energético y reducción de emisiones.
- Cuantificar beneficios asociados a productividad, competitividad, salud pública y efectos en necesidades de subsidios.
- Apoyar la estructuración de instrumentos regulatorios, financieros y de promoción que faciliten la adopción de tecnologías eficientes.
- Priorizar acciones de intervención bajo criterios de eficiencia económica, impacto energético, beneficio social y contribución a los compromisos climáticos del país.

La aplicación de la metodología se fundamenta en los siguientes principios propuestos por el NSPM-NESP (NESP, 2023):

Integralidad. La evaluación incorpora de manera simultánea impactos energéticos, económicos, ambientales y sociales, reconociendo que las decisiones de política energética generan efectos que trascienden los ahorros directos de energía.

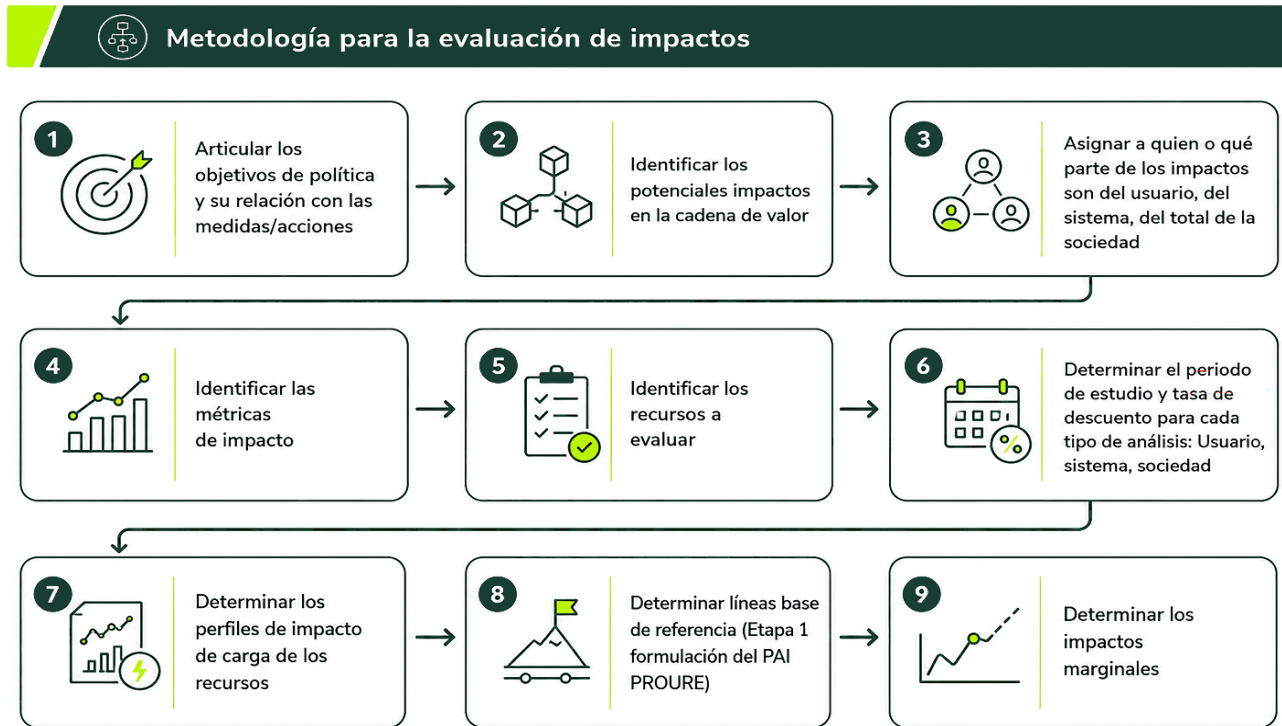
Orientación a objetivos de política pública. La valoración de cada medida se realiza en función de su contribución al cumplimiento de los objetivos y visión del PAI PROURE 2026-2035, así como de las metas nacionales de transición energética, mitigación del cambio climático, reconociendo las particularidades de los diferentes agentes económicos.

Inclusión de externalidades y co-beneficios. El análisis incorpora, en la medida de lo posible, los beneficios y costos asociados a emisiones evitadas, calidad del aire, salud pública, productividad, necesidades de infraestructura energética y otros impactos relevantes para la sociedad.

Simetría y consistencia metodológica. Los costos y beneficios son tratados de manera homogénea para todos los actores involucrados, evitando duplicidades y garantizando comparabilidad entre medidas y sectores.

Perspectiva de largo plazo. La evaluación considera horizontes temporales consistentes con la vida útil de las tecnologías y con el periodo de análisis establecido para el PAI PROURE 2026-2035.

Transparencia y trazabilidad. Todos los supuestos, parámetros, fuentes de información y criterios utilizados en la valoración están documentados y ser verificables, permitiendo la reproducibilidad de los resultados y su actualización futura.

Figura 68. Pasos para la aplicación de la metodología de análisis beneficio-costos

Fuente: UPME a partir de NESP.

La aplicación de la metodología en el marco del PAI PROURE 2026-2035 se realiza para cada una de las medidas priorizadas en las etapas uno a la tres en la formulación del plan y además considera los diferentes aspectos usados desde la definición y priorización de las medidas para identificar los costos y beneficios acordes a lo propuesto y a los agentes que intervendrían en la implementación, permitiendo estimar de forma homogénea sus impactos energéticos, económicos, ambientales y sociales.

Para cada medida se desarrollarán los siguientes componentes de análisis:

- Definición de la medida y alcance de implementación, alineadas con los insumos técnicos levantados en las etapas uno a la tres de la formulación del PAI PROURE.
- Identificación de supuestos técnicos, económicos y regulatorios: Tasas de descuento, comportamiento tarifario, esquemas de subsidios y contribuciones u otras apolíticas aplicables con efectos en la determinación de precios.

- c. Identificación de costos y beneficios según los agentes involucrados en la implementación de la medida. Se identifican los impactos directos e indirectos generados por cada medida sobre la cadena energética, los usuarios, las entidades públicas y la sociedad. Estos impactos pueden incluir ahorros energéticos, reducción de inversiones en infraestructura, disminución de emisiones, reducción de subsidios, mejoras en productividad y beneficios en salud.
- d. Asignación de impactos por actor: Los impactos identificados se clasifican según la perspectiva de análisis correspondiente: usuario, sistema energético o sociedad, permitiendo establecer quién percibe los beneficios y quién asume los costos.
- e. Cuantificación de los efectos energéticos, incluyendo ahorros de energía, e incrementos en otro energético cuando se trata de sustitución de combustibles y electrificación de usos finales.
- f. Cuantificación de impactos ambientales, incluyendo reducción de emisiones de GEI y contaminantes locales, efectos en salud.
- g. Se establecen los indicadores técnicos, energéticos, económicos, ambientales y sociales necesarios para cuantificar cada impacto, así como las fuentes de información y supuestos asociados.
- h. Valoración económica: Los impactos identificados son monetizados utilizando información sectorial, parámetros regulatorios, factores ambientales, costos evitados y demás variables pertinentes para cada tipo de beneficio o costo.
- i. Construcción de flujos de caja y estimación de indicadores de rentabilidad económica y social. Construcción de escenarios: Se construyen los escenarios “sin medida” y “con medida”, identificando los cambios incrementales atribuibles a la intervención propuesta.
- j. Evaluación y análisis de resultados: Se calculan indicadores económicos como Valor Presente Neto (VPN) de beneficios y costos, se estima la relación Beneficio-Costo (B/C).

Los resultados se concretan en la estimación de la razón entre los beneficios y los costos, para cada perspectiva de análisis, si el valor obtenido es superior a uno, el resultado indica que el agente está percibiendo de manera suficiente los beneficios que obtiene una vez incurra en los costos y que de manera natural él tendría motivaciones en adoptar la medida, por el contrario cuando la razón es menor a uno, muestra que los costos en los que incurre son mayores a los beneficios que se perciben. Y en este sentido, dado que la óptica del análisis es la del planeador y formulador de la política, la relación que se prioriza es la relación beneficio costo obtenida para la sociedad.

Si esta relación es superior a uno, indica que los costos, co-beneficios y externalidades analizadas en conjunto son beneficiosas para el total de la sociedad y que la medida es una medida óptima, dimensionando los problemas de agencia y agentes miopes de la teoría económica y constituyendo el principal motivador para el diseño de recomendaciones de

política pública que permitan promover la implementación de las medidas, incluso cuando representan costos superiores a los que perciben el usuario o inversionista y los que representa para el sistema energético. En resumen, si los resultados desde cada perspectiva permiten identificar sobre quien recaen los costos y los beneficios, cuando la medida es costo beneficioso para la sociedad, generar recomendaciones pertinentes para su promover su futura implementación.

