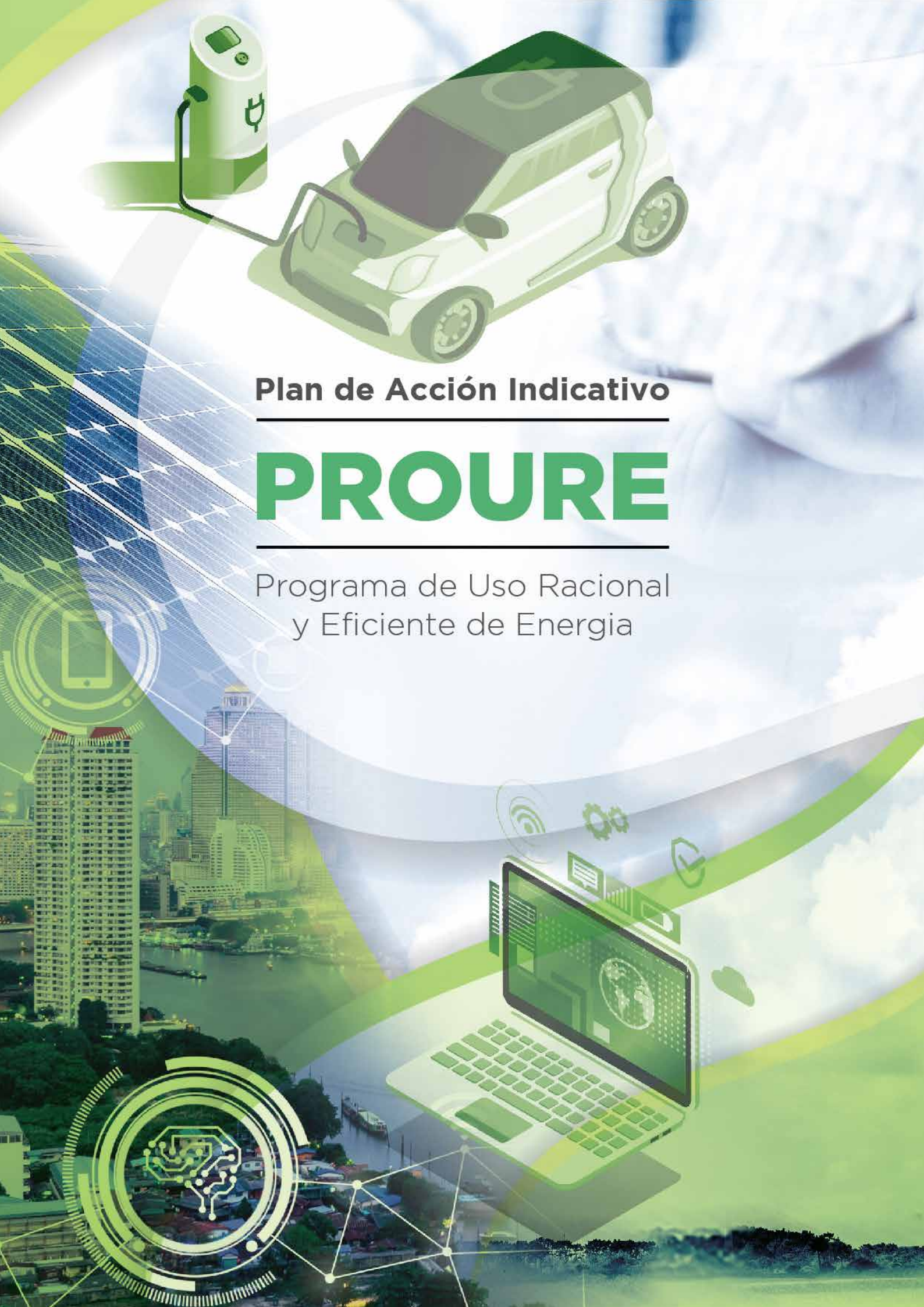




Plan de Acción Indicativo

PROURE

Programa de Uso Racional
y Eficiente de Energía



REPÚBLICA DE COLOMBIA

Ministerio de Minas y Energía

Ministro **Diego Mesa**
Viceministro **Miguel Lotero**

Unidad de Planeación Minero-Energética

Director General **Christian Jaramillo**
Subdirectora de Demanda **Lina Escobar Rangel**
Asesora Subdirección de Demanda **Olga Victoria González**

Colaboradores UPME

Germán Leonardo Camacho
Julieth García
William Alberto Martínez
Omar Báez
Juan Francisco Martínez
María Paula Rojas
Diana Montaña

Asesores externos

Erika Florez
Verónica Ortiz
Elkin Ramirez
Alexander Valencia
Angélica Contreras

Agradecimientos

Este documento se ha beneficiado de valiosas contribuciones de externos y colaboradores de la UPME, por ello la Subdirección de Demanda agradece la participación y aporte de los participantes de los talleres sectoriales realizados entre el 23 y el 25 de febrero de 2021, así como a: Diego Grajales, Lina Castaño, Julian Rojas (Ministerio de Minas y Energía), Diego Mariño (Comisión de Regulación de Energía y Gas), Carolina Cruz, Javier Martínez, Wilson Sandoval (UPME), Sergio Ruiz (Coordinador MaPriC - GIZ), Patricia Dávila (GIZ), Katharina Grosso (FENOGE), Juan Carlos Campos (E2, Energía Eficiente), Fabio González y Dario Mayorga (CORPOEMA), Hilda Cristina Mariaca (UTO -MADS), Ricardo Baquero (ONUDI), Omar Prías (Universidad Nacional), Julián Jaramillo (UIS - Proyecto etiquetado edificios), Carlos Casallas (Departamento Nacional de Planeación), Julio Galindo (ENTerritorio), Enrique Cadena (FDN), Maria Fernanda Manrique (Bancoldex), Fernando Carrero (FINDETER), Mariana Escobar (Superintendencia Financiera), Mauricio Velez (Asobancaria), Jonathan Sanchez (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible).

El grupo de trabajo autor de este documento está conformado por: Omar Báez, Leonardo Camacho, Lina Escobar, Julieth Stefany García, Olga González, William Alberto Martínez, Juan Francisco Martínez, Diana Montaña y Maria Paula Rojas de la UPME. Así como: Angelica Contreras, Erika Florez, Elkin Ramirez, Verónica Ortiz y Alexander Valencia, asesores externos.

Contenido

Agradecimientos	3
Contenido	4
Prefacio	6
Introducción	8
Punto de partida 2020: Avances en eficiencia energética, potencialidades en Colombia y desarrollos tecnológicos recientes.	14
Avances de las metas de eficiencia energética del PAI-PROURE 2017-2022	14
Potenciales de mejora en eficiencia energética en Colombia	15
Desarrollos tecnológicos recientes	16
Edificaciones - Construcción sostenible	16
Tecnologías de cero y bajas emisiones en el sector transporte	18
Redes inteligentes	20
Sistemas de Almacenamiento	22
Nuevos combustibles: Hidrógeno con bajo contenido de carbono	25
Visión, pilares y objetivos del PAI-PROURE a 2030	27
Visión: El desafío a largo plazo	27
Pilares: Áreas estratégicas de acción	28
Indicadores de seguimiento	29
Objetivos específicos del PAI-PROURE	34
Acciones y metas de eficiencia energética por sector	35
Análisis beneficio-costos y priorización	35
Resultados de metas de eficiencia energética totales	36
Comparación entre el PAI-PROURE y la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC).	40
Análisis sectoriales	41
Sector residencial	42
Sector transporte	53
Sector industrial	64
Sector terciario	72
Nuevos sectores	80
Sector termoeléctrico	80

Sector hidrocarburos	86
Sector minero	93
Construcción sostenible	100
Almacenamiento de energía eléctrica	104
Recomendaciones para la promoción de la eficiencia energética	111
Incentivos tributarios	111
Medidas de política pública	116
Fuentes de financiación	127
Perspectivas a 2030	143
Conclusiones	147
Bibliografía	149
Anexo 1. Proyección de ventas por categoría y energético utilizados en el escenario PAI-PROURE	152

Prefacio

Apreciado lector,

Bienvenido al Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PAI-PROURE).

La energía, en todas sus formas, es central en la sociedad moderna. Los consumidores hacemos uso de ella directamente cuando cocinamos, vemos televisión o nos desplazamos en carro, e indirectamente en casi cualquier otra actividad. La mesa del comedor, nuestra vestimenta, el material de las viviendas, las vías por las que circulamos, el teléfono celular, el computador (¿o el papel?) en que usted está leyendo este documento: todos incorporan energía en su fabricación o la cadena logística que los puso en sus manos.

Producir y disponer energía para todos estos usos es costoso, en recursos e impacto medioambiental. Por ello, en el contexto de la transformación energética, Colombia está haciendo esfuerzos por disminuir las emisiones de carbono en la cadena energética. Pero una producción económica y limpia de energía no es suficiente: es siempre deseable, y dada la realidad del calentamiento global, moralmente imperativo, ser juiciosos -racionales y eficientes- en el consumo de energía, tanto en los hogares como en las actividades económicas en general.

Colombia tiene mucha tela por cortar en el uso eficiente de la energía. De acuerdo con el **Plan Energético Nacional -PEN- 2020-2050**, la eficiencia energética del país es de 31%. Permítanos repetir esto: en promedio, al usar energéticos, de cada 100 unidades de energía se pierden 69, y solo se aprovechan efectivamente 31. La eficiencia energética varía según el sector, desde un 55% en la industria hasta un abismal 18% en los hogares. Consecuentemente, mejorar la eficiencia energética, además de ser un objetivo evidentemente meritorio como ahorro, es una de las medidas de mayor impacto potencial para disminuir nuestra huella de carbono.

La innovación permanente en procesos productivos y tecnologías abre la posibilidad para que el uso de la energía sea cada vez más eficiente. Sin embargo, hacer los cambios para aprovechar esas tecnologías (reemplazar una nevera en un hogar, o un horno industrial, o implementar un controlador inteligente) es en sí mismo costoso. El usuario enfrenta una decisión económica sobre inversiones que pueden estar fuera de su alcance en el momento, o inversiones que tienen externalidades -cuyos beneficios no le llegan al que invierte. Y con frecuencia, son también inversiones cuyos efectos son inciertos, porque la tecnología no es conocida o, siendo conocida, no se entiende su impacto. La política pública debe entonces tomar acción: identificar y eliminar barreras, resolver externalidades, informar y educar.

Múltiples medidas de política pública tienen impactos sobre la promoción de la eficiencia energética. Sin embargo, para el PROURE la eficiencia energética es el objetivo central. El **PAI-PROURE** identifica acciones y medidas concretas para incrementar la eficiencia

energética, y las materializa de dos maneras. Por un lado, hace recomendaciones puntuales para el diseño de política pública -por ejemplo de estándares técnicos a adoptar. Y por otro lado, identifica acciones susceptibles de recibir los incentivos tributarios definidos en la Ley 1715 de 2014 para la gestión eficiente de la energía (GEE).

EI PAI-PROURE es necesariamente un ejercicio que no se puede cerrar de manera definitiva. La aparición de nuevas tecnologías amplía la frontera de eficiencia, de manera que los estándares a los que debemos aspirar deben revisarse periódicamente. Este PAI-PROURE correspondientemente actualiza algunas de las medidas previamente implementadas, y añade medidas adicionales que reflejan el avance tecnológico. Debutan en él además sectores productivos cuyo potencial para mejoras en eficiencia ha crecido recientemente, como la generación y transmisión de electricidad. Creemos que va a ser un acicate eficaz en la dirección correcta.

Para concluir, permítanos poner el PAI-PROURE en el contexto más amplio de la política pública. El cambio climático es un desafío sin precedentes para la humanidad, y los riesgos que trae son existenciales para el país. La transformación energética es la respuesta del sector energético al cambio climático, hecha posible por la profusión de tecnologías que han surgido y la conciencia política de la necesidad de actuar. Va a tomar tiempo, y debe hacerse a un paso congruente con las necesidades de la sociedad colombiana. Un pilar de esa transformación consiste en descentralizar, descarbonizar y digitalizar las cadenas de valor energéticas. Otro pilar debe ser la eficiencia energética, cuyo altísimo potencial de mejora es imperativo capitalizar. Esta es la visión que enmarca el actuar de la UPME, y que se manifiesta en este Plan que tiene en sus manos.

Un saludo muy cordial,

Christian Jaramillo Herrera – Director General

Lina Escobar Rangel – Subdirectora de Demanda



Introducción

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) presenta en este documento el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) para el periodo 2022-2030. En este documento se establecen las metas indicativas de eficiencia energética para el país, entendida como un recurso valioso en el marco de la transformación energética.

La apuesta por la eficiencia energética no es fortuita, por el contrario, es una de las mejores formas de dar respuesta a los retos de la política energética. Por un lado, aporta al constante desafío de abastecer una demanda creciente a un precio razonable, y por el otro, contribuye en la mitigación del cambio climático. Por esta razón, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020) le ha denominado como “el combustible para un sistema energético global sostenible”.

En Colombia, la eficiencia energética tiene un alto potencial de ahorros económicos y de consumo. De acuerdo con el Balance de Energía Útil (BEU) realizado por la UPME en 2018, la eficiencia energética puede significar una reducción de costos entre 6,600 y 11,000 millones de USD al año, lo que contribuye a mejorar la competitividad de la producción nacional y la asequibilidad de la energía para los habitantes del país.

En el contexto actual, la eficiencia energética también puede ser un foco de recuperación económica. La pandemia Covid-19 golpeó fuertemente la economía colombiana, en 2020 se registró una caída del 6.8% en el PIB, lo que es el registro histórico más bajo desde que se lleva esta estadística. Por ello, incentivar y promocionar la eficiencia energética y las inversiones relacionadas puede contribuir a la reactivación de ciertos sectores y a su vez, no decaer en los esfuerzos ya materializados en términos de intensidad energética.

¿Por qué es deseable la intervención del estado en la promoción de la eficiencia energética?.

A pesar de los potenciales beneficios de la eficiencia energética para la consecución de los objetivos de política pública, las inversiones en proyectos de esta naturaleza enfrentan varias fallas de mercado que limitan su ejecución, por lo que es deseable la intervención del Estado.

Dentro de las fallas de mercado relacionadas con la eficiencia energética se encuentran las externalidades asociadas al uso de la energía (contaminación, etc). Por otro lado, están las potenciales barreras a la entrada de nuevas tecnologías por la falta de códigos y estandarización. De igual forma, enfrentan problemas de agencia, cuando quien paga las inversiones es diferente de quien las disfruta y por último, lo que se denomina agente económico miope, que corresponde al evento en el que en la toma de decisiones no se contemplan los flujos asociados al consumo futuro.

Dada la diversidad de fallas de mercado, la promoción de la eficiencia energética re-

quiere la combinación de diferentes tipos de intervenciones del sector público. La reglamentación y definición de estándares, incentivos tributarios, difusión de información y mecanismos que permitan valorar externalidades, tales como la contaminación, entre otros.

En este sentido, la Ley 697 de 2001 y la Ley 1715 de 2014¹ proveen una serie de incentivos tributarios a quienes realicen proyectos de eficiencia energética. Lo anterior, con el objeto de promover las inversiones en equipos y servicios, que por sus costos o falta de información pueden no llevarse a cabo, pero que contribuyen a alcanzar los propósitos comunes de estas dos leyes, que son: i) asegurar el abastecimiento energético, ii) mejorar la competitividad de la economía nacional y iii) reducir el impacto ambiental asociado al consumo de energía.

En la Ley 697 de 2001 se crea el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía PROURE y se propone la creación de la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos de eficiencia energética que sean económica y ambientalmente viables.

De otro lado, la Ley 1715 de 2014 establece el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) como la guía para la concreción de las actuaciones del sector público en materia de eficiencia energética, el establecimiento de plazos para la ejecución de las mismas, la atribución de responsabilidades y la identificación de las diferentes formas de financiación y necesidades presupuestarias.

Gracias a la expedición de estas dos leyes, las medidas y acciones de eficiencia energética que se identifiquen como susceptibles de incentivos tributarios en los planes de acción indicativos del PROURE tienen acceso a la exclusión de IVA, descuento o deducción de renta, exención de aranceles y depreciación acelerada².

¿Qué es el Plan de Acción del PROURE y cuál es su propósito?

El PAI-PROURE es un documento en el que se determinan metas indicativas de eficiencia energética que se estiman a partir del potencial de aplicación de medidas y se identifican cuáles de ellas son costo-efectivas.

La costo-efectividad de las medidas incluidas en el PROURE permite identificar en cuáles de ellas se justifica una financiación indirecta de los contribuyentes colombianos y por ello, deberían acceder a los beneficios tributarios otorgados en la ley. En dicho análisis, además de los beneficios en términos energéticos, se contemplan los asociados a la provisión de bienes públicos tales como mejoras en confiabilidad, reducción de riesgos sistémicos, diversificación de la matriz, seguridad energética y beneficios ambientales.

En este sentido, el ejercicio realizado en este documento propende por una intervención eficiente del Estado en la promoción de las acciones de eficiencia energética, ya sean asociadas al recambio tecnológico, la adopción de buenas prácticas, la sustitución de combustibles o la digitalización.

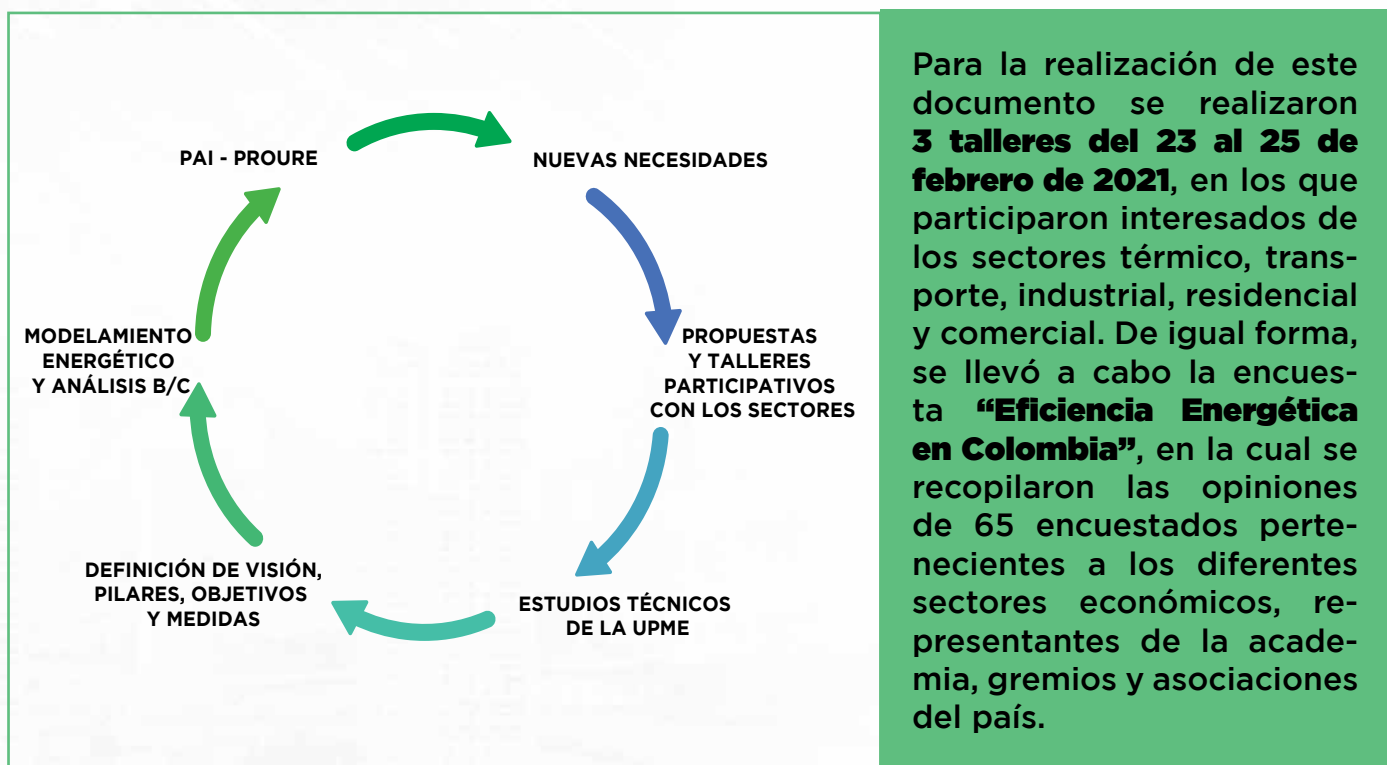
¹Recientemente modificada por la Ley 2099 de 2021

²Este último incentivo tributario se otorga gracias a la expedición de la Ley 2099 de 2021 que modificó la Ley 1715 de 2014.

¿Cómo se construyó esta nueva versión del PAI-PROURE?

Este tercer volumen del PAI-PROURE fue construido como un proceso de varias etapas. La primera de ellas corresponde a una evaluación de los resultados del PAI-PROURE 2017-2022, en la que se llevó a cabo un balance en el avance de las metas establecidas, así como las propuestas de inclusión de nuevas medidas que ha recibido la UPME en el ejercicio de expedición de certificados para incentivos tributarios.

La segunda etapa consistió en la identificación de nuevos retos y sectores. Por ello, en este documento se incorporan metas de eficiencia energética de los sectores de producción de energía eléctrica en centrales térmicas, producción de hidrocarburos y la actividad minera, en concordancia con el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del sector de minas y energía PIGCCme. Adicionalmente, se proponen medidas de eficiencia energética para las edificaciones y se incluyen los potenciales de ahorro derivados del uso de nuevas tecnologías.



Este documento también se nutre de estudios realizados por la UPME. Entre ellos, cabe destacar: el Balance de Energía Útil BEU (2018), el estudio para identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional (2020), la caracterización energética del transporte automotor carretero de carga urbano e interurbano (2020), la estimación de los consumos de subsistencia en energía eléctrica, gas natural y GLP en territorio nacional SIN y ZNI (2019), la guía de planes de gestión eficiente de la energía para entidades públicas (2020) y los lineamientos para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones en Colombia (2020-2021).

La quinta etapa del PAI-PROURE fue proponer una visión a 2030, junto con objetivos de largo aliento en materia de eficiencia energética. Con el fin de asegurar una coherencia entre las medidas propuestas y los resultados que se esperan, con los objetivos de desarrollo sostenible y de política pública.

Finalmente, en la última etapa se realizó el modelamiento energético y la priorización de las acciones y medidas. Este ejercicio cuantifica los impactos energéticos y ambientales de las medidas propuestas, a través la simulación energética realizada en la UPME y con estos resultados, se llevó a cabo un análisis de beneficio costo que permitió determinar cuáles medidas son costo-efectivas y cuáles de ellas requieren incentivos tributarios.

El análisis energético, ambiental y económico es prospectivo. Lo anterior implica que las medidas se evalúan en el horizonte 2022-2030, puesto que, la valoración de la adopción y el impacto de las medidas requieren periodos de amortización que permitan capturar sus beneficios. Sin embargo, esto no implica que este ejercicio no se actualizará en el corto plazo. El periodo previsto por la UPME para la actualización de este plan es de cada 4 años.

Este documento es la versión final del PAI-PROURE, luego de la revisión de los comentarios que se recibieron en el periodo de consulta. (6 al 31 de octubre de 2021). En esta versión, se recogen los comentarios y aportes enviados a la UPME por el público interesado. Gracias al periodo de consulta se recibieron 24 comunicaciones provenientes de los siguientes remitentes: Ministerio de Minas y Energía, Empresas Públicas de Medellín EPM, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial ONUDI, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, Asociación Nacional de Industriales ANDI, ENEL, Jorge Duarte, EON AA Hoteles, Dagoberto Valencia, Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones ANDESCO, Asociación Nacional de Empresas Generadoras ANDEG, Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica ACOLGEN, VANTI, Johana Infante EBP Group, Naturgas, Ecopetrol, Celsia, Asociación Colombiana de Distribuidores de Energía Eléctrica ASOCODIS, Asociación Colombiana del Petróleo ACP, Promigas, Fedbiocombustibles, Gecelca y Ministerio de Transporte.

¿Cuáles son los resultados más destacados del PAI-PROURE?

Los resultados de la simulación energética de las medidas propuestas en este documento arroja un potencial de eficiencia energética significativo. **En cuanto a la reducción de consumo se encontró un potencial de 1,688 PJ en el periodo 2022-2030.** Lo anterior, corresponde a una reducción del 10% frente a un escenario tendencial. Si tenemos en cuenta que el consumo de energía para 2020³ fue de 1,650 PJ, se puede decir que con la implementación de las medidas propuestas en este plan, Colombia podría ahorrar 1 año de consumo energético y sus costos asociados.

Estos porcentajes corresponden a la suma de las reducciones de consumo de energía simuladas para cada sector frente a un escenario tendencial, sobre el consumo total acumulado de energía en el periodo de análisis.

³En los sectores analizados en el documento.

Los resultados sectoriales señalan que del 10% potencial de reducción de consumo, el transporte corresponde al 4%, seguido de residencial con 3.11% y finalmente el sector industrial 1.52%. Estos porcentajes corresponden a la suma de las reducciones de consumo de energía simuladas para cada sector frente a un escenario tendencial, sobre el consumo total acumulado de energía en el periodo de análisis (2022-2030).

Por el lado de las emisiones de CO₂, **la simulación del PAI-PROURE arroja un potencial de 85.02 MtonCO₂ evitadas en el periodo analizado.** Lo anterior, equivale a una reducción estimada del 22% para las emisiones estimadas en el año 2030 en el escenario tendencial.

Este documento está organizado en 5 grandes secciones, incluida esta introducción. En la siguiente sección se describe el estado actual de la matriz y el consumo energético en Colombia, de acuerdo con la información del Balance Energético Colombiano (BECO) y el Balance de Energía Útil (BEU). En la tercera sección, se propone una visión y objetivos de largo aliento en materia energética y su relación con los objetivos de política pública. A continuación, se presentan los análisis realizados para cada uno de los sectores propuestos, así como los resultados obtenidos del modelamiento energético y de los análisis costo-beneficio. Por último se proponen una serie de recomendaciones en materia de política pública.

Anexo a este documento se encuentran las memorias de cálculo utilizadas para el ejercicio de simulación energética y ambiental, el análisis beneficio-costo de cada uno de los sectores estudiados, así como la matriz con la respuesta a los comentarios recibidos durante el periodo de consulta.

Punto de partida 2020: Avances en eficiencia energética, potencialidades en Colombia y desarrollos tecnológicos recientes.

En esta sección se presentan brevemente los avances en materia de eficiencia energética alcanzados con el PAI-PROURE 2017-2022 y los potenciales de mejora identificados en cada sector en el mediano plazo de acuerdo con el Balance de Energía Útil (BEU). De igual forma, se presenta una revisión de algunos desarrollos tecnológicos que se analizaron en el marco de la actualización del PAI-PROURE.

Avances de las metas de eficiencia energética del PAI-PROURE 2017-2022

El PAI-PROURE 2017-2022 definió una meta acumulada de eficiencia energética de 699,678 TJ es decir un 9.05% de la demanda estimada a 2022. Esta meta se divide entre sectores así: transporte 5.49%, industria 1.71%, terciario 1.13% y residencial 0.73%.

El seguimiento a las metas de eficiencia energética se realiza a través de varios canales de información. El primero corresponde a las solicitudes de certificado UPME realizadas por inversionistas en proyectos de gestión eficiente de energía y que quieren acceder a beneficios tributarios. El segundo son los resultados obtenidos en el desarrollo de proyectos en los que ha participado la UPME y finalmente, estudios y publicaciones de terceros.

Con la información de las solicitudes de certificado UPME para beneficios tributarios en eficiencia energética que se ha recopilado desde octubre de 2017, la UPME ha consolidado la siguiente información: i) 588 solicitudes recibidas de las cuales se han certificado 450, es decir el 77%; ii) la mayoría de los proyectos certificados corresponden al sector transporte con 235 (53%), seguido del sector terciario con 169 (38%) y finalmente, el sector industrial con 38 (8.6%); iii) los proyectos certificados cuentan con una inversión sin IVA de \$6,777,355 (MCOP), siendo el sector transporte el de mayor inversión, con aproximadamente el 90% del total.

Los proyectos certificados implican un ahorro de energía estimado de 11,988 TJ, es decir, un 1.71% de la meta nacional. Por sector, los mayores ahorros se encuentran en el industrial en donde a pesar de tener pocas solicitudes, estos proyectos implican reducciones de consumo de energía del orden de 5,576 TJ (46.5% de los proyectos certificados). Las emisiones evitadas corresponden a 985,784 TonCO₂/año del total de los proyectos certificados.

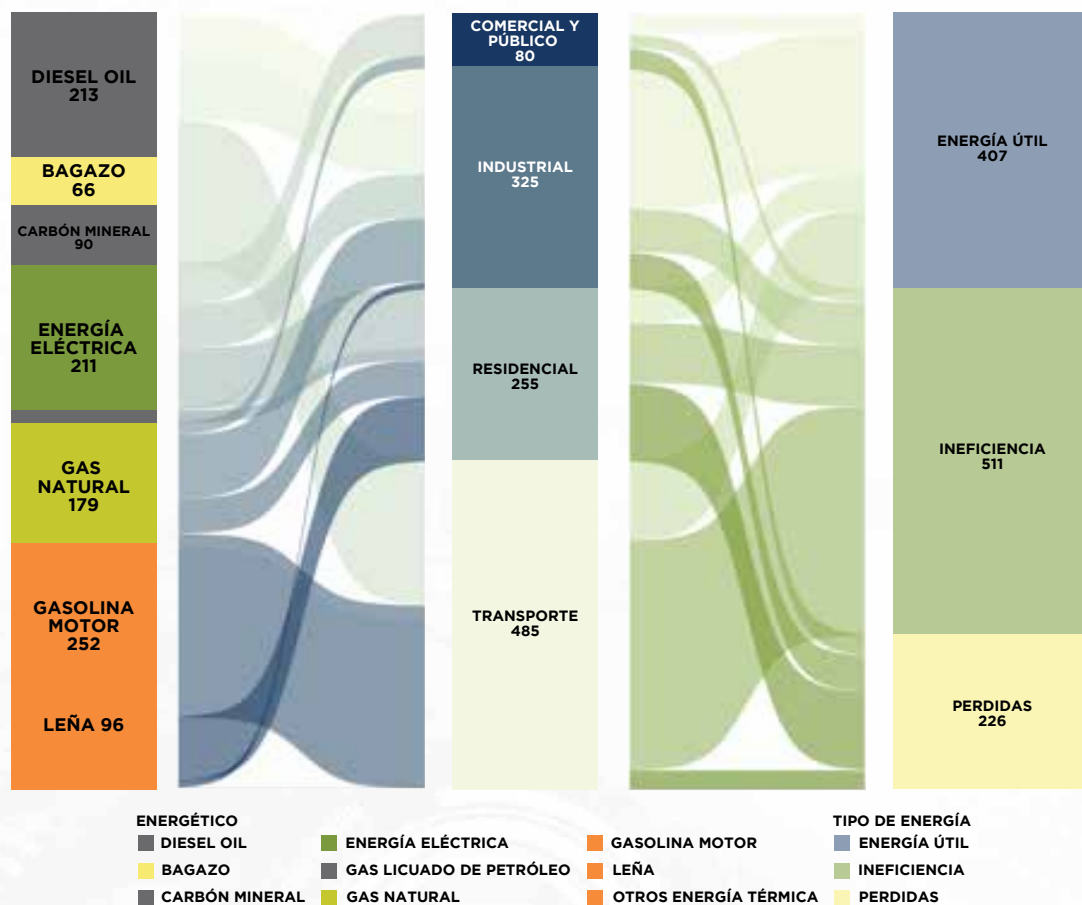
Adicionalmente, producto de la intervención al sector industrial colombiano a través del proyecto “Eficiencia Energética en la Industria Colombiana - EEI Colombia”⁴ se identificaron potenciales de ahorro de 6,343 TJ en 5 años, con un aporte a la meta nacional del sector industrial, estimado en cerca del 4.8%.

⁴Proyecto realizado por GEF, UPME y ONUDI. Consultar los resultados en <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Proyectos-de-eficiencia-energetica.aspx>

En cuanto al sector residencial, la UPME estructuró el proyecto de refrigeración región Caribe. Con esta iniciativa se esperan reducciones de consumo de energía eléctrica de cerca de 400 GWh y beneficios ambientales asociado a la reducción de GEI de 202,000 Ton CO2, en los 10 años del proyecto, a partir de la sustitución de 55,000 refrigeradores en estratos 1 y 2 en los departamentos de Atlántico, Bolívar y Córdoba, con recursos del FENOGE. Este proyecto contribuye a la meta del sector residencial en 1,557 TJ, equivalente al 3% de la meta total establecida para dicho sector.

Potenciales de mejora en eficiencia energética en Colombia

En Colombia los potenciales de eficiencia energética son significativos. Gracias a la realización del BEU (UPME 2018) fue posible cuantificar las pérdidas energéticas asociadas a la ineficiencia de los equipos de uso final. En el BEU se compara la cantidad de energía que consumen las tecnologías que se usan actualmente en el país, con respecto a la que se consumiría si se utilizaran las mejores tecnologías disponibles a escalas nacional e internacional, denominadas *Best Available Technologies* (BAT).



Gráfica 1. Balance de energía útil 2019⁵

⁵Las participaciones porcentuales en la gráfica son: En la columna de energéticos: Gasolina motor 22%; Diesel oil 19%; electricidad 18%; gas natural 16%; leña 8%; carbón mineral 8%; bagozo 6% y GLP 3%; en la columna de sectores: Transporte 42%; Industrial 29%; residencial 22% y comercial y público 7%; en la columna de eficiencia: ineficiencia 49%; energía útil 31%; pérdidas 20%

El resultado principal del BEU es que en Colombia, la energía útil es apenas el 31 % de la final, es decir, la ineficiencia en el consumo es del orden del 67 %. Esta situación cuesta anualmente al país entre 6,600 y 11,000 millones de USD al año. La adopción de BAT reduciría el consumo (y el costo) de energía entre un 38 % y un 62 % manteniendo los mismos niveles de producción y confort.

Como se puede ver en la Gráfica 1, el transporte no solo es el sector que más consume energía (43%), sino también en el que se observan mayores ineficiencias por uso (69%). De acuerdo con el BEU, la energía útil en el sector transporte es solo el 24 % de la que se consume (y se paga). Las mejoras tecnológicas (adoptando BAT nacionales) representan un potencial de mejora de eficiencia del 50 % y un ahorro del orden de los 3,400 millones de USD al año.

El sector residencial es el tercer consumidor de energía del país, pero el segundo renglón con mayores potenciales de eficiencia energética, por el uso de leña para cocción en el sector rural. La adopción de las BAT nacional o internacional significa ahorros estimados entre 1,643 y 2,358 millones de USD y mejoras entre 30 % y 40 %, respectivamente.

El sector industrial también tiene un potencial de eficiencia energética. De acuerdo con las estimaciones del BEU, las reducciones en costos son del orden de 810 millones de USD y de 1,400 millones de USD si se miden frente al BAT nacional y el BAT internacional, respectivamente. Uno de los retos más importantes en la industria es la optimización de los procesos de calor porque corresponden al 88 % de la energía consumida en este sector. Adoptar mejores tecnologías para sustituir las calderas y hornos actuales implicaría una mejora en eficiencia del 20 %.

Desarrollos tecnológicos recientes

La eficiencia energética es un área de avance tecnológico constante. Por lo anterior, la actualización del PAI-PROURE también responde a una revisión de los desarrollos en materia de optimización del consumo de energía que pueden ser aprovechados en el país y con los que se podrían alcanzar de forma más efectiva las metas propuestas.

A continuación, se exponen tecnologías relacionadas con avances recientes, así como en otras áreas en las que a pesar de ya tener niveles de madurez comercial aún no han sido adoptadas de forma masiva en el país.

Edificaciones - Construcción sostenible

La eficiencia energética en edificaciones no es un desarrollo tecnológico reciente, sin embargo, es incipiente en el país. La eficiencia energética en edificaciones hace referencia a la forma en cómo el diseño arquitectónico, el método constructivo y los materiales de construcción, permiten alcanzar reducciones en el consumo de energía, garantizando un nivel de confort, en sinergia con los equipos que se utilicen para acondicionarlo.

La eficiencia energética en edificaciones parte del uso de estrategias pasivas y activas que permiten hacer un mejor uso de la energía. Las estrategias pasivas más efectivas son el diseño bioclimático y las medidas de acondicionamiento de la envolvente.

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.

Las medidas activas se refieren al uso de equipos, sistemas y tecnologías que demanden la menor energía posible para su correcto funcionamiento como por ejemplo, en los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado.

Colombia ha dado el primer paso en la promoción de la construcción y readecuación de edificios desde el punto de vista energético, a través de la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Esta normativa establece los porcentajes de ahorro de energía y agua que deben satisfacer las nuevas⁶ construcciones de diferentes tipologías en diferentes climas del país. De igual forma, se resalta la expedición en 2018 del CONPES 3919 “Política Nacional de Edificaciones Sostenibles” documento mediante el cual se priorizan algunas acciones para dinamizar la construcción sostenible a nivel nacional.

Por el lado del sector privado desde hace algunos años existen sistemas de certificación como LEED, CASA Colombia o EDGE BUILDING. De acuerdo con datos del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible - CCCS y la Cámara Colombiana de la Construcción - CAMACOL hay un interés creciente por obtener la certificación bajo algún sello de construcción sostenible.

En sintonía con lo anterior, la UPME avanza en la construcción de una hoja de ruta para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones, SEEE; que permita dar información a los usuarios sobre el consumo energético del edificio y promueva las mejoras y adecuaciones en edificaciones antiguas, así como la aplicación de nuevos estándares de eficiencia en las nuevas construcciones.

La hoja de ruta para el etiquetado de edificios considera: i) el modelado y análisis energético a partir de los atributos de la edificación tal como tipología, 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 (MINCIENCIAS UIS UPME, 2021).

Alineada con estos avances, la UPME publicó en 2020 la guía para la formulación e implementación de planes de gestión eficiente de la energía en entidades públicas⁷. En esta última versión de la guía, se incluyen medidas asociadas con las edificaciones tales como opciones de medidas de tipo pasivas (envolvente), así como medidas tradicionales como sustitución de equipos de uso final y de buenas prácticas.

⁶Vale la pena aclarar que esta normativa no cubre la readecuación de edificaciones existentes.

⁷El documento se encuentra disponible en el siguiente enlace:

<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/Guias-de-consumo-eficiente.aspx>

En cuanto a las medidas pasivas, la guía identifica y valora los ahorros energéticos asociados con los aislamientos térmicos en la cubierta y fachada, de favorecimiento de la iluminación, la ventilación natural y de protecciones solares; entre otras. Por medio de simulaciones energéticas de la edificación se identificaron las oportunidades más costo efectivas de mejora de la eficiencia energética, según zona climática.

Para finalizar, es preciso destacar que la Agencia Internacional de Energía IEA (2020) identifica que a raíz de la crisis del Covid-19, la demanda energética en edificaciones puede sufrir cambios desde el sector comercial al residencial, ocasionados por el teletrabajo. Esta situación resulta en un doble desafío y oportunidad para avanzar en la eficiencia energética en edificaciones.

Por un lado, si la tendencia del teletrabajo se mantiene en el tiempo, se podría esperar un aumento en la intensidad energética de las edificaciones comerciales, ya que los servicios comunes son los que tienen mayor participación en este sector. Esto podría motivar inversiones en eficiencia energética para reducir el consumo energético.

Por otro lado, la masificación del teletrabajo facilita el consumo de energía consciente en el sector residencial. Gracias al giro de la demanda hacia los hogares, la IEA (2020) indica que con la crisis del Covid-19, el interés en comprar nuevos electrodomésticos ha aumentado, con el fin de reemplazar equipos antiguos e ineficientes. De acuerdo con el reporte de 2020, desde que la pandemia empezó, las compras en línea de electrodomésticos residenciales aumentaron entre el 20% y el 40%.

Tecnologías de cero y bajas emisiones en el sector transporte

La mayor parte del uso de energía en el sector transporte corresponde al consumo de combustibles fósiles en motores de combustión interna y turbinas. Estas tecnologías han sido predominantes desde el siglo XIX y han permitido ampliar significativamente las posibilidades de transportar mercancías y personas.

Sin embargo, la dependencia en los combustibles fósiles de este sector ha movilizado recursos de inversión en el mundo entero, para el desarrollo de tecnologías que permitan diversificar los energéticos y mitigar las emisiones de GEI, tanto por preocupaciones de seguridad energética, como por las ambientales⁸ y los compromisos de mitigación del cambio climático.

Teniendo en cuenta que actualmente este sector es el mayor consumidor de energía en el mundo (y en Colombia) y que la demanda de servicios de transporte se espera sea creciente, las posibilidades tecnológicas que permitan optimizar el uso de energéticos y reducir las emisiones de GEI asociadas al transporte serán determinantes para la transformación del sector energético.

De acuerdo con IRENA (2020a), en ciertos modos de transporte el camino hacia la descarbonización es claro gracias a los avances en materia de electrificación, sin embargo, la

⁸Según 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).

tecnología a día de hoy no permitiría la completa sustitución en la utilización de combustibles fósiles en ciertas categorías vehiculares.

La electrificación para el transporte férreo y carretero ligero (vehículos particulares y de pasajeros, motos, y camiones pequeños de última milla) es posible con la tecnología actual, esto implicaría reducciones importantes en el consumo energético y de GEI, bajo el supuesto que la energía eléctrica proviene de fuentes renovables. Se espera que las baterías de los vehículos eléctricos mejoren en rendimiento y por ende, sean cada vez más competitivas.

A nivel urbano y de cercanías empieza a desarrollarse el transporte de carga y de pasajeros usando vehículos eléctricos. Sin embargo, el transporte pesado de carga interurbano, el transporte aéreo y marítimo seguirá dependiendo de combustibles fósiles en el futuro cercano.

Con el fin de identificar las posibilidades de eficiencia energética del sector transporte en el contexto local, la UPME realizó el 2020 el estudio “Clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional” (UPME 2020b). En este documento se analizan 3 tipos de tecnologías vehiculares y 8 energéticas. A continuación, se mencionan los principales resultados.

En cuanto a los vehículos de combustión interna, los desarrollos tecnológicos están concentrados en vehículos de cero y bajas emisiones y la utilización de biocombustibles o gases.

Con respecto a los biocombustibles tradicionales, los fabricantes apuntan a que los motores soporten las mezclas de mayor nivel que el actual. Sin embargo, la apuesta tecnológica para los vehículos de combustión interna son los biocombustibles avanzados. Estos se producen a partir de residuos agrícolas y forestales, cultivos no alimentarios o residuos industriales. El interés por los biocombustibles avanzados resulta de que se podrían utilizar en los motores existentes sin modificaciones, lo cual hace que el mercado potencial de estos sea grande. Los desarrollos actuales a nivel mundial son los siguientes: biobutanol, bioDME (dimetiléter), biometano, etanol celulósico, biomasa a líquido (BtL por sus siglas en inglés), aceites vegetales hidrotratados (HVO por sus siglas en inglés), ésteres hidroprocesados y ácidos grasos (HEFA), entre otros.

En cuanto a los gases combustibles, hay que mencionar que actualmente existen vehículos de inyección directa de alta presión, que tienen un rendimiento y economía de combustible similar a los de los actuales motores diésel de alto rendimiento en vehículos pesados. En el uso de gas natural licuado (GNL) también se han dado desarrollos, para poder almacenarlo en tanques criogénicos, lo que permite mayor densidad energética y por ende, una solución rentable para los camiones de larga distancia.

Los vehículos con motor eléctrico y vehículos híbridos son los que concentran mayor interés, en particular de los fabricantes europeos, quienes han anunciado que concentrarán todos sus esfuerzos en el desarrollo de vehículos eléctricos livianos. De hecho, en el mercado local ya se cuenta con un portafolio de vehículos particulares híbridos, híbridos enchufables y completamente eléctricos.

Para los vehículos pesados (camiones y buses), los desarrollos eléctricos se han dado en el segmento de camiones de carga medianos y urbanos. Varios fabricantes de camiones han anunciado planes para vender al menos un modelo de camión híbrido enchufable o camión eléctrico a batería en los próximos 10 años.

Finalmente, los vehículos eléctricos de pila de combustible con hidrógeno (FCEV) son la apuesta de los fabricantes japoneses y del este asiático (Toyota, Honda y Hyundai), aunque Mercedes-Benz también ha comenzado a comercializar vehículos eléctricos híbridos enchufables con una celda de combustible. En el caso de los buses, a nivel mundial, al menos 11 empresas fabrican actualmente autobuses eléctricos de FCVE de hidrógeno. Por el lado de los camiones Daimler, Fuso, Hyundai, Toyota, Scania, Volkswagen y PSA están desarrollando camiones FCEV, que van desde prototipos hasta modelos comerciales.

Redes inteligentes

Las redes inteligentes hacen referencia a la incorporación de tecnologías digitales en la cadena de valor del suministro energético. Una red inteligente se compone de controles, computadores, sensores y otros dispositivos que trabajan de forma conjunta para operar la red de forma óptima, facilitar la integración de nuevos elementos a la misma y responder de forma rápida ante eventos externos.

Formalmente, NIST (2014) define una red inteligente como “una red modernizada que permite flujos bidireccionales de energía, utiliza comunicación en doble sentido y tiene capacidades de control que conducirán a una serie de nuevas funcionalidades y aplicaciones”.

De acuerdo con (Gopstein et al 2021), las tecnologías de redes inteligentes se encuentran en toda la cadena de valor del suministro de energía eléctrica.



Cliente (automatización en edificios o en hogares, automatización industrial, micro generación, almacenamiento).



Mercado (gestión de mercados, venta al por menor, agregación de DER, comercialización, operaciones de mercado, operaciones auxiliares, plataformas).



Proveedor de servicios (gestión de clientes, instalación y mantenimiento, gestión de edificios, gestión de viviendas, gestión de la energía, facturación, gestión de cuentas).



Operación (monitorización, control, gestión de fallas, análisis, informes y estadísticas, cálculos de red, entrenamiento, registros y activos, planificación operativa, mantenimiento y construcción, planificación de la extensión, asistencia al cliente, estimación del estado).



Generación - incluye DER (control, medición, protección, registro, gestión de activos).



Transmisión (almacenamiento, medición y control).



Distribución (almacenamiento, generación distribuida, alternativas inalámbricas, medición y Control).

La instalación de las tecnologías de redes inteligentes tiene como objetivo alcanzar una mayor capacidad y eficiencia en la transmisión y distribución de energía. Lo anterior supone reducción de pérdidas, respuesta rápida y efectiva ante eventos que ponen en riesgo la prestación del servicio y reducción de costos de operación y mantenimiento. De igual forma, facilitan la integración de fuentes de energía no convencionales renovables y de recursos de generación distribuida.

La infraestructura de AMI y los VE pueden generar ganancias en eficiencia energética y de reducción de emisiones tanto a nivel de usuario final como para el sistema eléctrico. Con AMI, el usuario tiene información clara y oportuna sobre su uso de la energía, por lo que puede ajustar su consumo en respuesta a tal información o 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.

Los VE son una tecnología de redes inteligentes por las funcionalidades de respaldo que podría prestar la batería del vehículo en situaciones de emergencia. De cara al usuario final, la compra de un VE tiene potenciales ahorros energéticos en comparación con los vehículos de combustión interna.

Para Colombia, el proyecto “Apoyo al despliegue de tecnologías de redes inteligentes en Colombia”⁹ 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 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.

De igual forma, se identificó que las redes inteligentes permitirían reducir las emisiones por sobre un 50% comparado con las emisiones del 2019, por un costo menor que el escenario sin redes inteligentes.

⁹Este 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>

Sistemas de Almacenamiento

El almacenamiento de energía basado en baterías es un componente importante para la transformación del sector eléctrico y energético. El almacenamiento de energía permite alcanzar mayores participaciones de energía renovable en los sistemas eléctricos, acelerar la adopción de recursos energéticos distribuidos y reducir los costos de inversión y operación de las redes (Rocky Mountain Institute, 2015).

Las baterías pueden considerarse como una tecnología convergente, ya que es un activo que puede ser usado para sustituir o complementar diferentes tareas o servicios de otros activos del sistema eléctrico. En este sentido, hay una variedad de servicios (usos) que pueden prestar los sistemas de almacenamiento. Estos servicios y sus definiciones varían según los informes, a continuación se presentan identificados por Rocky Mountain Institute (2015) y el Departamento de Energía de Estados Unidos (U.S. Department of Energy, 2020).



Regulación de frecuencia (AGC): La batería sirve para equilibrar las diferencias momentáneas entre la demanda y el suministro de electricidad dentro de la red de transmisión.



Reserva giratoria: La batería ofrece capacidad de generación distribuible no utilizada que puede estar disponible para su uso durante una perturbación de frecuencia significativa.



Soporte de voltaje o energía reactiva: La batería puede asegurar la calidad de la energía entregada al mantener el voltaje dentro de los límites especificados.



Control de velocidad de rampa: La batería compensa las variaciones de carga en la rampa de los generadores.



Reducción de los picos (peak shaving): Reduce o pospone la necesidad de construir una nueva capacidad de generación o de compra en el mercado eléctrico mayorista durante los momentos de mayor demanda.



Arbitraje: Las baterías se cargan durante períodos en que la energía eléctrica es menos costosa y se descargan cuando los precios de la electricidad son altos.



Gestión de carga: Proporciona servicios al cliente final asociados a la calidad de la energía, confiabilidad del suministro, maximización del consumo de energía renovable etc.



Almacenar el exceso de generación: Guardar excesos de eólica, solar o de recursos no despachables y que de otra forma se desperdiciara.



Energía de respaldo: Capacidad de reserva activa de potencia de energía que se utiliza luego de una falla catastrófica de una red que puede usarse para energizar líneas de transmisión y distribución, proporciona energía de arranque para generadores o proporciona una frecuencia de referencia.



Aplazamiento de transmisión y distribución: Gracias a la instalación de baterías se logra mantener el sistema de transmisión o distribución por debajo de los máximos especificados, lo que permite retrasar la construcción de nuevas líneas o evitar los costos y cargos relacionados con la congestión.



Generador reafirmante: La batería proporciona potencia de salida constante durante un cierto período de tiempo de un generador combinado y un sistema de almacenamiento de energía. A menudo, el generador en este caso es un generador renovable no despachable (por ejemplo, eólico o solar).

Vale la pena señalar que, adicional a los servicios mencionados anteriormente, las baterías también pueden desempeñar un papel importante en soluciones no interconectadas y microrredes, ya que pueden reemplazar o complementar generadores diésel para alimentar torres de telecomunicaciones, microrredes en islas pequeñas y hogares aislados de la red (EUROBAT, 2020).

Todas las tecnologías de baterías (plomo, litio, níquel y sodio) tienen un papel importante que desempeñar en la transformación del sector eléctrico. Actualmente, no existe una batería única para todos los servicios, puesto que las diferentes aplicaciones requieren diferentes tecnologías. (EUROBAT, 2020). A continuación, una breve descripción de las tecnologías más desarrolladas en la actualidad.

Baterías de plomo-ácido: Este tipo de baterías son las de mayor participación en el mercado internacional, por ser una de las más antiguas. Este tipo de batería tiene un alto grado de avance y desarrollo, por lo que tiene precios asequibles (360 €/kWh) y alta disponibilidad. Este tipo de baterías tienen una gran capacidad de descarga en un breve instante de tiempo, bajos ciclos de vida (200-300 ciclos), tiempos de recarga elevados y valores de energía específica bajos. (Martínez & Domínguez, 2019).

Baterías de iones de litio: Es una de las tecnologías más avanzadas y versátiles, ya que el litio es uno de los metales más ligeros y con mayores densidades de energía (110-160 Wh/kg o 300-400 kWh/m³). Estas baterías tienen largos ciclos de vida (aproximadamente de 4500 ciclos), sin embargo, su costo aún es elevado, con una inversión cercana a los 530 €/kWh y costos de operación y mantenimiento de 3 €/kWh.

Baterías de Níquel-Cadmio: Estas baterías tienen mejores prestaciones que la de plomo ácido debido a su menor masa, soportar mayores temperaturas y tener un mayor ciclo de vida (entre 1000-1500 ciclos). Sus desventajas son: la pérdida en la capacidad por cargas incompletas, lo que acelera el proceso de descarga y da origen a la aparición de cristales de cadmio. Finalmente, hay que mencionar que el cadmio es un material pesado y contaminante (Martínez & Domínguez, 2019).

Baterías de Sodio-Sulfuro: Este tipo de baterías son una tecnología en fase de desarrollo. Las baterías de sodio-sulfuro necesitan mantenerse a temperaturas superiores de 300 °C. Entre sus características se destacan, el rendimiento del 80 % y largos ciclos de vida (4500 ciclos). Su inversión ronda los 285 €/kWh y los costos de operación y mantenimiento de 3 €/kWh. Actualmente, la batería más grande de este tipo se encuentra en una planta eólica de Japón con 51 MW y una capacidad de 12 MWh (Martínez & Domínguez, 2019).

Además del tipo de tecnología, las baterías se pueden diferenciar en función de las siguientes características:

- Densidad de energía¹⁰
- Eficiencia de carga y descarga (ida y vuelta)
- Vida útil
- Impacto ambiental

En estos 4 aspectos, las baterías de mejor desempeño son las de iones de litio. En cuanto a densidad de energía, estas baterías almacenan entre 150 y 250 vatios-hora por kilogramo (kg) y pueden almacenar entre 1.5 y 2 veces más energía que las baterías de sodio-sulfuro, dos o tres veces más que las baterías de níquel-cadmio y aproximadamente cinco veces más que las baterías de almacenamiento de plomo (Asian Development Bank, 2018).

Se prevé que a 2030, el crecimiento global de sistemas de almacenamiento para prestar servicios a la red eléctrica sea de 15 veces, es decir, pasar de 10 GWh a casi 160 GWh en 2030. El crecimiento de demanda por esta tecnología se concentraría en China (8.6 veces), así como en Europa, Estados Unidos y el resto de Asia (ROA) quienes aumentan su demanda de 5 a 7 veces durante este mismo período. (Asian Development Bank, (2018).

En cuanto a su costo, el crecimiento en la demanda por baterías de iones de litio en la electrónica de consumo y los vehículos eléctricos ha llevado a una expansión en la capacidad de fabricación global, lo que ha resultado en una disminución de los costos. El precio de las baterías ha caído de 1,000 USD/kWh en 2010 a 227 USD/kWh en 2016 y se espera siga disminuyendo (Asian Development Bank, (2018)).

El Departamento de Energía de Estados Unidos (2020) identifica dos desafíos para el futuro de los sistemas de almacenamiento. En primer lugar, la competitividad de este activo frente a otras tecnologías que operan en la red. El segundo desafío es la degradación del sistema a lo largo del tiempo, es decir, la disminución continua y duradera de la potencia o el rendimiento energético de una batería.

La inclusión de estas tecnologías en los análisis del PROURE están concentrados en el uso de baterías como solución para evitar los costos y emisiones asociadas a la generación de seguridad de plantas termoeléctricas.

¹⁰Cantidad de energía que se puede almacenar en un solo sistema por unidad de volumen o por unidad de peso.



Nuevos combustibles: Hidrógeno con bajo contenido de carbono

Actualmente, el hidrógeno se utiliza como insumo en la industria química¹¹ y el 99.6 % de la producción proviene de hidrocarburos (petróleo, gas y carbón). Sin embargo, el endurecimiento en los requerimientos medioambientales para la producción de hidrógeno con combustibles fósiles y sus potenciales usos como vector/ portador energético, abren la posibilidad para el desarrollo de un mercado global de hidrógeno con bajo contenido de carbono y una transformación del sistema energético mundial. (Wood Mackenzie 2020a).

En este sentido, el hidrógeno verde¹² y azul¹³ se perfilan como alternativas energéticas del futuro. Por un lado, pueden sustituir el hidrógeno con alto contenido de carbono que actualmente se utiliza en el sector de refinerías y producción de amoníaco y por el otro, tiene el potencial para canalizar grandes cantidades de energía y utilizarla en sectores que son difíciles de electrificar y descarbonizar tales como la industria y el transporte (IRENA 2018).

Por lo anterior, hoy el hidrógeno recibe atención especial de gobiernos, reguladores e inversionistas. De acuerdo con el Hydrogen Council (2021), al principio de este año, cerca de 30 países han lanzado sus mapas de ruta de hidrógeno, la industria ha anunciado más de 200 proyectos y los gobiernos en el mundo han comprometido más de 70 millones de USD en recursos públicos para financiar desarrollos en hidrógeno.

A la fecha, Wood Mackenzie (2020b) reporta que las metas más ambiciosas de oferta de hidrógeno verde a 2030 son las siguientes: Unión Europea con 40 GW, Francia 6.5 GW, Alemania 5 GW y el Reino Unido 5 GW.

La tecnología de mayor desarrollo para la producción de hidrógeno verde es el electrolizador. Este equipo utiliza energía eléctrica (proveniente de fuentes renovables) para separar los átomos de hidrógeno del agua. IRENA (2018b) señala que actualmente hay 3 tipos de electrolizadores, los alcalinos (ALK), los de membrana de protones intercambiables (PEM¹⁴) que son más flexibles que los ALK y por último los de óxido sólido que aún están en fases experimentales, pero que tienen el potencial de mejorar las eficiencias, gracias a que trabaja en altas temperaturas.

El uso del hidrógeno como energético lo habilita las celdas de combustibles. Estos dispositivos pueden ser usados en diferentes aplicaciones que incluyen el transporte, la industria, los edificios y el almacenamiento. Las celdas de combustibles son superiores a las tecnologías de combustión, gracias a que convierten la energía química a energía eléctrica con una eficiencia superior al 60%¹⁵

¹¹En 2020, la demanda de refinerías y de producción de amoníaco representan el 65 % del total del mercado. (Wood Mackenzie, 2020).

¹²El hidrógeno verde se produce a partir de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables a través de un proceso denominado electrólisis.

¹³El hidrógeno azul se produce a partir de hidrocarburos pero cuyas emisiones de CO₂ se capturan para ser almacenadas o utilizadas.

¹⁴Proton exchange membrane.

¹⁵Ver: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

Por el lado de la demanda, el hidrógeno bajo en carbono podría utilizarse como insumo en los procesos industriales en los que actualmente se usa, pero el gran potencial proviene de su uso como vector energético en aplicaciones industriales y de transporte en donde se utilizan combustibles fósiles y son intensivos en emisiones de GEI. Wood Mackenzie (2020b) prevé que el 79% de la demanda para el hidrógeno de bajo carbono en 2020-2030 se concentrará en las refinerías, la producción de metanol y amoníaco (usos actuales), mientras que para 2050, la participación en la demanda de esos usos se reduciría a 31%.

Las aplicaciones del hidrógeno en el sector industrial se centran en procesos de altas temperaturas en acerías, producción de cemento y la producción de combustibles sintéticos IRENA (2018b).

En el sector transporte, los vehículos eléctricos de celdas de combustible FCEV tienen un rango de conducción y recarga similar a los vehículos convencionales. Por ello, el hidrógeno está llamado a reemplazar al diesel oil en los segmentos en los que los vehículos eléctricos de batería (BEV) no son competitivos, tal como en los buses de pasajeros y camiones de carga pesada de largas distancias (IRENA, 2018b).

Finalmente, el hidrógeno también puede ser utilizado a través de las redes de gas domiciliario para uso de calefacción y cocción en los sectores residencial y comercial. Se espera que en un futuro, el almacenamiento de energía renovable en producción de hidrógeno sea una forma de respaldo para el sistema.

Este interés por el hidrógeno no es ajeno para el país. El Ministerio de Minas y Energía lanzó recientemente la Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia como guía para coordinar los esfuerzos del gobierno, la academia y la industria. La estrategia define un plan integrado de actividades para aprovechar las potencialidades del hidrógeno, en particular, para desarrollar las políticas que habilitarán el desarrollo de una industria de esta naturaleza.

Por su parte, la UPME también realiza varios análisis referentes al hidrógeno. En el Plan Energético Nacional 2020-2050 se incluyó el hidrógeno verde en el escenario Disrupción como parte de las posibilidades para diversificar la matriz energética, reducir las emisiones de GEI y aumentar la eficiencia energética en los sectores de transporte e industria. En este mismo sentido, en convenio con el Ministerio de Ciencia, la UPME desarrolla un estudio de investigación para evaluar el rol de hidrógeno verde y el hidrógeno azul en la demanda futura, considerando los impactos técnico, ambiental, económico, social y regulatorio.

Finalmente, vale la pena destacar que en la reciente Ley de Transición Energética (Ley 2099 de 2021) se incluye el hidrógeno verde y azul como (FNCE) y por ende, se enmarca dentro de lo establecido en la Ley 1715 de 2014. Dado que tanto la producción, almacenamiento, distribución y uso final del hidrógeno son susceptibles de acceder a los beneficios tributarios de la mencionada ley, en este documento no se analizarán proyectos de esta naturaleza, pues legalmente se asume de facto que tienen beneficios energéticos y ambientales por su clasificación de FNCE.

¹⁶Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24309272/Hoja+Ruta+Hidrogeno+Colombia_2810.pdf

De hecho, para dar cumplimiento a la Ley, la UPME se encuentra actualmente trabajando en la lista de bienes y servicios asociados con el hidrógeno verde y azul que serían susceptibles de los incentivos tributarios y que pueden ser incluidos en el certificado que emite la UPME. Los resultados de este ejercicio serán publicados en la página web de la entidad para consulta y construcción colectiva con los interesados.

Visión, pilares y objetivos del PAI-PROURE a 2030

En esta sección se presenta la apuesta de largo plazo en eficiencia energética. Aquí se describen los pilares de acción de la política pública y los objetivos que se persiguen con este ejercicio. A continuación, se describen los propósitos de la política energética y cómo la eficiencia energética resulta fundamental para alcanzarlos.

Visión: El desafío a largo plazo

La propuesta de visión 2030 para el PAI-PROURE es reducir la brecha tecnológica en el uso de la energía, mediante la adopción de medidas, dispositivos y equipos costo-eficientes.

Esta visión apunta a motivar el cambio. La apuesta del PAI-PROURE es que la reconversión tecnológica del sector energético sea parte fundamental de su transformación y por ende, del desarrollo sostenible de Colombia.

Teniendo en cuenta que el país se ha comprometido con una idea de progreso sostenible (DNP, 2018), las intervenciones de política pública deben enmarcarse en el crecimiento económico, el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos y grupos más vulnerables y la protección al medio ambiente.

En este contexto, la visión del PAI PROURE apunta a que con las medidas costo-eficiente de eficiencia energética propuestas en el documento, se contribuya con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:

Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante. La apuesta del PAI-PROURE contempla medidas para la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía limpia y de bajas emisiones de GEI y la adopción de tecnologías que optimizar el uso de la energía, con lo que se busca que la energía tenga de forma simultánea un bajo costo y un impacto ambiental reducido.



Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles. La visión del PAI-PROURE contempla mejoras en eficiencia energética que habilitan mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos en el presente, sin poner en riesgo el abastecimiento energético para generaciones futuras.



Objetivo 12. Producción y consumo responsables. La visión del PAI-PROURE abarca además del uso de fuentes energéticas renovables, la mejora de la eficiencia energética y el empoderamiento de los usuarios a través de la información, lo que permitiría optimizar las decisiones de consumo e internalizar su impacto sobre el medio ambiente.

Objetivo 13. Acción por el clima. La visión del PAI-PROURE es que con las medidas de eficiencia energética se contribuya a reducir la emisión de GEI y con ello, limitar el aumento de la temperatura global.

12
PRODUCCIÓN Y
CONSUMO
RESPONSABLES



13
ACCIÓN
POR EL CLIMA



Pilares: Áreas estratégicas de acción

Los pilares que se enuncian a continuación corresponden a las áreas estratégicas de acción, que resumen la visión propuesta a 2030 y consignan la finalidad de este documento. Los pilares del PAI-PROURE se alinean con los propósitos perseguidos en la Ley 697 de 2001 y la Ley 1715 de 2014 y concuerdan con los planteados en el PEN 2020-2050.

1. Aseguramiento de un abastecimiento energético pleno, oportuno y asequible. Este primer pilar apunta a que a través de las medidas costo efectivas de eficiencia energética se aporte en la consecución de las metas del acceso a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles, así como las de diversificar la matriz energética.

Lo anterior, entendiendo que la optimización del uso de la energía ya sea a través del cambio tecnológico, la adopción de las mejores prácticas o el cambio de combustible tienen un impacto directo en el bienestar y el confort de los consumidores finales, así como en la composición de la matriz energética del país.

2. Competitividad de la economía colombiana y a la protección al consumidor. Este segundo pilar se orienta a que a través de la eficiencia energética se logre alcanzar una reducción de costos asociados al consumo energético, manteniendo niveles de producción y de confort. Las medidas de eficiencia energética contempladas como un recurso que puede sustituir o retardar la ampliación en la infraestructura del sistema, también tienen un impacto indirecto en los costos asociados a la ampliación del sistema energético.

3. Uso de la energía de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. Este tercer pilar está relacionado con la mitigación del impacto ambiental que tiene la producción y el consumo de energía, en particular a través de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI y la promoción del uso de recursos renovables no convencionales, en aquellas aplicaciones en las que sea eficiente hacerlo, pues son acciones encaminadas al cumplimiento de los compromisos climáticos de Colombia consignados en la NDC y en la senda de carbono neutralidad a 2050.

4. Conocimiento e innovación: El cuarto pilar se refiere a la necesidad de contar con un ecosistema de conocimiento y desarrollo de capacidades en el capital humano enfocados en la promoción de la transición energética y el desarrollo sostenible. La adopción de nuevas tecnologías y combustibles requieren no solamente de infraestructura que las respalde, sino también del capital humano e investigativo que facilite su integración y aprovechamiento.

Indicadores de seguimiento

A continuación, se proponen una serie de indicadores de seguimiento con el fin de monitorear el impacto que se espera de esta versión del PAI-PROURE. Los primeros indicadores son macro, es decir, son estadísticos que recogen el impacto global que tendrían las medidas de eficiencia energética aquí propuestas en la matriz de producción y consumo energético agregado. Cada indicador macro se asocia con un objetivo del Plan Energético Nacional 2020-2050, que a su vez, está interrelacionado con los pilares de la política energética.

Tabla 1. ¿A qué le apunta el PAI-PROURE?- Indicadores macro

Pilares política pública	Objetivos PEN-2020 2050	Aporte del PAI PROURE	2019	Meta 2025	Meta 2030 ¹⁷
Contribuir en el aseguramiento de un abastecimiento energético pleno, oportuno y asequible.	Diversificar la matriz energética.	Reducir la intensidad energética del país	2.23 (TJ/MM\$)	1.79 (TJ/MM\$)	1.60 (TJ/MM\$)
		Aumentar la participación de la energía eléctrica en el sector transporte.	0.07%	1.02%	3%
		Aumentar la participación de fuentes no convencionales de energía renovable en la oferta primaria.	4.1%	7.07%	8.6%
Aportar en la mejora de la competitividad de la economía colombiana y en la protección al consumidor.	Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos.	Reducir la participación de la leña en el sector residencial.	38%	26.4%	13%
		Aumentar el porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final.	31%	36.24%	41.13%
Propender por un uso de la energía de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.	Propender por un sistema energético de bajas emisiones de GEI.	Reducir la tasa de crecimiento de las emisiones de CO ₂ asociadas al consumo final de energía.	2.92% promedio anual	1.91% promedio anual 2021 - 2025	1.41% promedio anual 2021-2030

Pilares política pública	Objetivos PEN-2020 2050	Aporte del PAI PROURE	2019	Meta 2025	Meta 2030 ¹⁷
Gestión de conocimiento enfocado en la promoción de la transición energética y el desarrollo sostenible.	Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano.	Grupos de investigación grupo de investigación registrados en Ministerio de Ciencias que tiene como eje principal la energía.	101		Aumentar y descentralizar

Dado que los indicadores macro son de largo aliento y agregan varios factores, a continuación se propone una batería de indicadores asociados con los sectores de uso final para hacer un seguimiento más detallado y en el corto plazo.

En este sentido, los indicadores de seguimiento sectorial corresponden a medidas asociadas con la adopción de las tecnologías propuestas en este documento, cuyos valores pueden ser obtenidos en los sistemas de información con los que cuenta el país.

¹⁷Resultado estimado frente al escenario tendencial utilizado en este ejercicio.

Tabla 2. Indicadores de seguimiento sectorial

Sector	A qué indicador macro	Indicador de seguimiento	Fuente de información	Unidad de medida	Línea base año 2019	Línea base año 2020	Meta 2022	Meta 2023	Meta 2024	Meta 2025
Residencial	Reducir la participación de la leña en el sector residencial	Hogares que consumen leña como único energético ¹⁸	DANE-ECV	Millones de hogares	1,11	1,13	0,96	0,88	0,79	0,71
	Aumentar el porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final	Uso de bombillas de bajo consumo como práctica para reducir el consumo de energía eléctrica (Total Nacional)	DANE-ECV	Porcentaje de hogares		84.8%	85.75%	86.42%	87.27%	88.03%
Transporte	Aumentar la participación de la energía eléctrica en el sector transporte y reducir la tasa de crecimiento de las emisiones de CO2 asociadas al consumo final de energía	Vehículos eléctricos particulares*	RUNT	Número de vehículos	1,349	2,121	36,598	70,728	119,875	183,049
		Taxis eléctricos	RUNT	Número de vehículos	50	51	354	649	1,155	1,752
		Buses y microbuses eléctricos servicio público	RUNT	Número de vehículos	75	852	2,960	3,892	4,726	6,745
		Camiones eléctricos	RUNT	Número de vehículos	75	90	257	581	1,077	1,744
	Sustitución de combustibles Aumentar el porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final	Camiones, buses y tractocamiones a gas natural	RUNT	Número de vehículos	507		814	1,045	1,278	1,686

¹⁸A través de la Encuesta de Calidad de Vida del DANE es posible identificar los hogares que utilizan leña como único, principal, o como energético secundario para la preparación de alimentos.

Sector	A qué indicador macro	Indicador de seguimiento	Fuente de información	Unidad de medida	Línea base año 2019	Línea base año 2020	Meta 2022	Meta 2023	Meta 2024	Meta 2025
Transporte	Sustitución de combustibles Aumentar el porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final	Edad promedio del parque automotor de carga de la flota de vehículos con peso bruto superior a 10,5 toneladas	RUNT	Años		17.4	16.4	16.0	15.5	15.0
		Número de trenes/metros nuevos para transporte de pasajeros en operación.	Plan Maestro Ferroviario - DNP	Número trenes / metros		0	0	0	1	0
		Kilómetros de infraestructura férrea para transporte de carga en operación.	Plan Maestro Ferroviario - DNP	Número de kilómetros		3.533	3.533	3.533	3.533	4.288
Industria	Reducir la intensidad energética del país	Consumo energético por unidad de producto en las siguientes ramas de actividad:	Consumo energético por unidad de producto en las siguientes ramas de actividad:							
		Alimentos, bebidas y tabaco (CIIU 10, 12)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		3.10	2.92	2.89	2.85	2.82
		Prendas, textiles, cuero (CIIU 13-15)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		1.00	0.70	0.69	0.67	0.66
		Madera y productos de madera (CIIU 16)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		1.20	1.79	1.79	1.78	1.78
		Papel y productos de papel (CIIU 17)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		6.40	6.54	6.46	6.38	6.29

Sector	A qué indicador macro ap	Indicador de seguimiento	Fuente de información	Unidad de medida	Línea base año 2019	Línea base año 2020	Meta 2022	Meta 2023	Meta 2024	Meta 2025
Industria	Reducir la intensidad energética del país	Impresión (CIU 18)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		0.40	0.41	0.40	0.40	0.39
		Químicos y productos químicos (CIU 20,21)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		1.40	1.40	1.37	1.35	1.33
		Plástico y caucho (CIU 22)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		2.10	2.09	2.06	2.03	2.00
		Minerales no metálicos (CIU 23)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		5.30	4.99	4.92	4.85	4.78
		Metales básicos (CIU 24)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		3.30	2.72	2.67	2.62	2.57
		Productos metálicos, maquinaria y equipo (CIU 25-28)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		0.50	0.42	0.41	0.40	0.39
		Vehículos, partes (Res- to 29-30)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		0.40	0.33	0.32	0.31	0.30
		Otras industrias (Resto CIU)	UPME (BE-CO)-DANE (DSCN)	Tj/MM\$		0.70	1.19	1.18	1.18	1.17
Terciario	Reducir la intensidad energética del país	Consumo energético por unidad de producto en las siguientes actividades:	Consumo energético por unidad de producto en las siguientes actividades:							
		Gestión de desechos	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	8.7%	8.7%	8.6%	8.6%	8.5%	8.3%
		Comercio	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	32.7%	32.7%	32.85%	32.96%	32.62%	31.78%
		Almacenamiento	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	25.6%	25.6%	25.75%	25.84%	25.57%	24.91%
		Alojamiento/comida	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	21.7%	21.7%	21.85%	21.93%	21.70%	21.14%
		Información y comunicaciones.	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	9.8%	9.8%	9.87%	9.91%	9.81%	9.55%

Sector	A qué indicador macro ap	Indicador de seguimiento	Fuente de información	Unidad de medida	Línea base año 2019	Línea base año 2020	Meta 2022	Meta 2023	Meta 2024	Meta 2025
Terciario	Reducir la intensidad energética del país	Financieras y seguros	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	23.7%	23.7%	23.87%	23.95%	23.70%	23.09%
		Actividades inmobiliarias	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	1.9%	1.9%	1.91%	1.92%	1.90%	1.85%
		Actividades profesionales	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	15.7%	15.7%	15.73%	15.79%	15.62%	15.22%
		Actividades de servicios administrativos	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	3.4%	3.4%	3.41%	3.43%	3.39%	3.30%
		Administración pública	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	29.8%	29.8%	29.43%	29.46%	29.14%	28.36%
		Educación de mercado	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	1.1%	1.79%	1.09%	1.09%	1.08%	1.05%
		Educación de no mercado	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	3.2%	3.2%	3.17%	3.17%	3.14%	3.05%
		Actividades de salud humana	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	3.5%	3.5%	3.41%	3.41%	3.38%	3.29%
		Actividades de recreación.	DANE (DSCN)	MM\$/PIB	22.4%	22.4%	22.52%	22.60%	22.36%	21.78%

Objetivos específicos del PAI-PROURE

Como se mencionó anteriormente, el PAI-PROURE es un documento guía para la intervención del estado en materia de eficiencia energética. Aquí se presentan las medidas cuyos beneficios sobrepasan sus costos desde el punto de vista colectivo. En este contexto y enmarcados en los pilares de política energética mencionados en la sección anterior, los objetivos que se persiguen con este documento son los siguientes.

- 1. Actualizar** el inventario de medidas de eficiencia energética en los diferentes sectores de consumo, teniendo en cuenta las innovaciones y avances tecnológicos.
- 2. Integrar** las acciones y medidas de eficiencia energética que pueden ser implementadas en los sectores de extracción y producción de hidrocarburos, sector minero y generación termoeléctrica.
- 3. Determinar** las metas indicativas de ahorro energético nacionales de acuerdo con una evaluación costo efectividad de las medidas y acciones en eficiencia energética analizadas.

4. Identificar cuáles medidas de eficiencia energética deberían ser susceptibles de incentivos tributarios.

5. Proponer acciones complementarias de política pública que coadyuven la consecución de las metas de eficiencia energética propuestas en el PAI – PROURE 2022 - 2030.

Acciones y metas de eficiencia energética por sector

En esta sección se determinan las metas de eficiencia energética por sector resultantes del proceso de priorización de medidas costo efectivas. La metodología de priorización se describe brevemente con el fin de presentar de forma esquemática el raciocinio detrás de la definición de las medidas susceptibles de obtener incentivos tributarios.

Análisis beneficio-costo y priorización

La eficiencia energética es un recurso que permite reducir o evitar el gasto en otros energéticos, por ello la priorización de medidas debe incluir un análisis completo y comprensivo de los beneficios y costos de este recurso con relación a la línea base, así como frente a posibles alternativas.

El ejercicio de priorización tiene dos componentes: el análisis costo-beneficio y el ranking de las medidas analizadas según su aporte a los objetivos de política pública.

Con el análisis costo-beneficio se identifican cuáles de las medidas de eficiencia energética analizadas son costo efectivas, es decir, aquellas cuyos beneficios exceden los costos. Este análisis también permite identificar si las medidas requieren apoyos financieros para su desarrollo, puesto que son deseables desde el punto de vista colectivo pero no lo son a nivel privado.

El análisis de costo efectividad que se realizó con las medidas identificadas se caracteriza por los siguientes aspectos.



Análisis incremental y simétrico: La evaluación incorpora los costos y beneficios desde la perspectiva privada y compara el desempeño de las medidas analizadas frente a la opción de utilizar otros recursos de la oferta.



Análisis colectivo: Además de incluir los costos y beneficios privados, este análisis incluye y cuantifica los impactos de la medida en función de la consecución de los pilares de la política energética, mencionados en la sección anterior.

¹⁹Los documentos guía para el análisis costo efectividad utilizados en este ejercicio fueron: “National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources” disponible en: <https://www.nationalenergy-screeningproject.org/national-standard-practice-manual/>. Y el estudio titulado “Evaluación costo efectividad de programas de eficiencia energética en los sectores residencial, terciario e industrial” UPME -2014, que se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1007/1/Informe%20Final%20-%20Costo%20Efectividad%20Medidas%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20UPME%20010-2014.pdf>



Análisis prospectivo: Involucra el cálculo de los costos y los beneficios actuales y los que se presentan sobre la vida útil de la medida propuesta, en este análisis no se tienen en cuenta los costos históricos o las inversiones ya realizadas y se evalúan los resultados en términos del cambio incremental, respecto de un escenario en la que la medida no se realiza.



Análisis comprensivo y transparente: Incluye una estimación de los costos y beneficios relacionados con externalidades que son de difícil cuantificación, adicionalmente, se pone a disposición del público todos los supuestos e información utilizada para alcanzar los resultados presentados.

En términos generales, la evaluación costo efectividad contiene 3 niveles.

- **Beneficio costo privado (B/C privado):** En este primer análisis se incluyen los costos y beneficios directos que percibe el usuario final. En la gran mayoría de los casos analizados, los usuarios finales son quienes deben realizar las inversiones relacionadas con eficiencia energética.

- **Beneficio costo sistémico (B/C sistema):** En el segundo nivel, se incorporan los costos y beneficios sistémicos, es decir, los impactos potenciales que tiene la medida, para los diferentes agentes de la cadena de servicios energéticos²⁰.

- **Beneficio costo social (B/C social):** En el tercer nivel se incluyen los costos y beneficios relacionados con las externalidades y la consecución de los objetivos de política pública, es decir, los impactos de la medida en la sociedad.

El segundo componente de la priorización consiste en definir un ranking de las medidas analizadas según su aporte a los objetivos de política pública de abastecimiento energético y de mitigación al cambio climático. Este ranking se construye calculando un indicador de aporte global. Este indicador corresponde a un promedio ponderado²¹ de la participación porcentual de cada medida analizada en la reducción de demanda y en las emisiones evitadas. Las medidas que tengan mayores aportes globales serán las que tengan los primeros puestos del ranking.

Con la información del ranking y los resultados de costo-beneficio se identifican cuáles de ellas no son socialmente beneficiosas, cuales requieren incentivos y cuales se pueden alcanzar sin ellos.

Resultados de metas de eficiencia energética totales

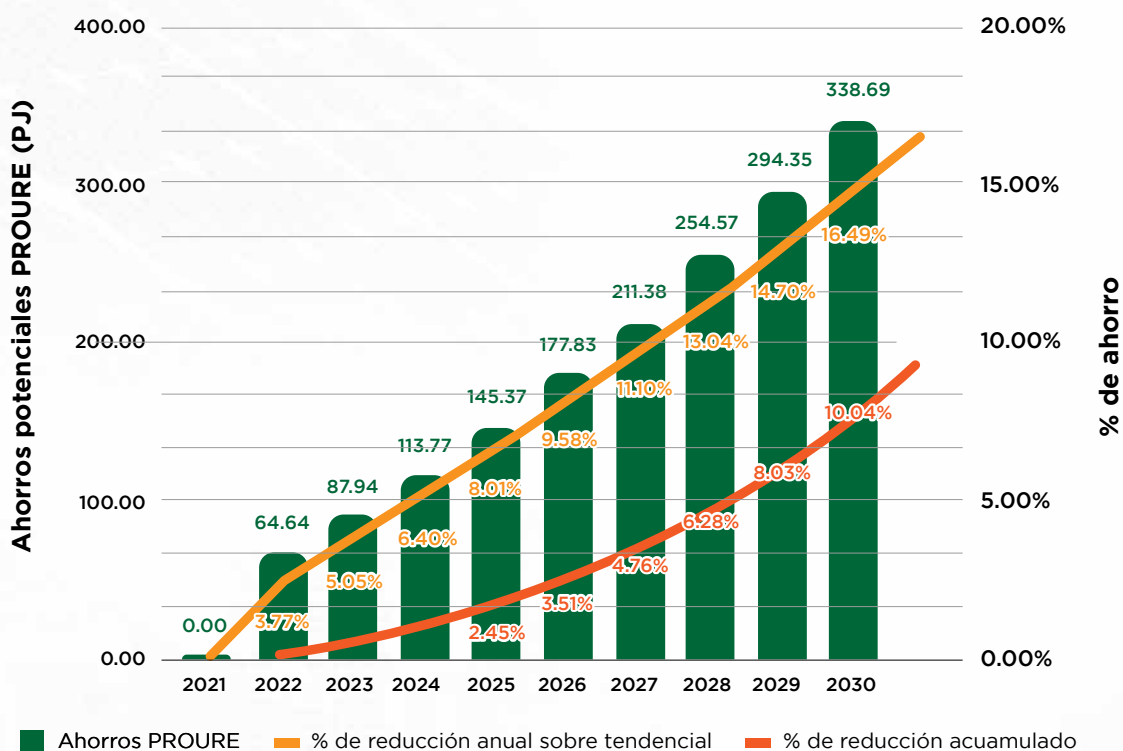
Como resultado del ejercicio de simulación de las medidas propuestas en el PAI-PROURE, los potenciales agregados de eficiencia energética tanto en reducción de consumo de energía como de emisiones de GEI evitadas se presentan a continuación.

²⁰En la Parte II. Beneficios y costos de DER y consideraciones transversales, del "National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources" se listan costos y beneficios, de acuerdo al nivel de análisis: usuario/cliente, sistema y sociedad, disponible en: <https://www.nationalenergyscreeningproject.org/national-standard-practice-manual/> (Pág 21).

²¹En este documento se le otorga un peso igual a los dos componentes (energético y ambiental).

En cuanto al consumo energético, se encontró que **el potencial de eficiencia corresponde a 1,688 PJ acumulados en el periodo 2022-2030. Lo anterior, corresponde a una reducción del 10% frente al escenario tendencial²².** Este ahorro acumulado es creciente en el tiempo y se distribuye en los 9 años del análisis de acuerdo con lo que se presenta en la siguiente gráfica.

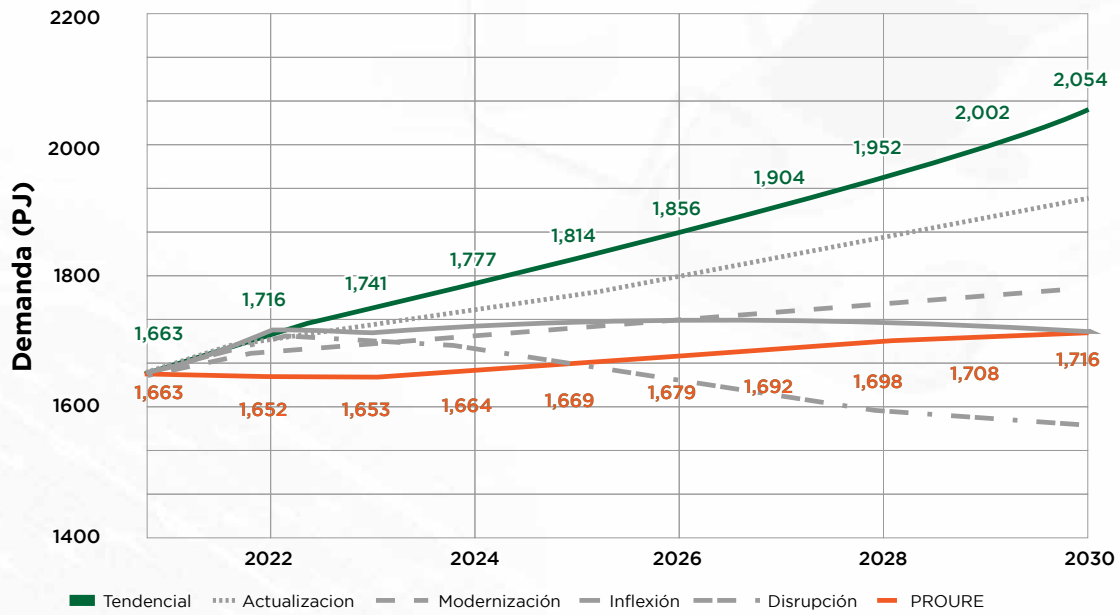
El escenario propuesto como PROURE resulta en una tasa de crecimiento anual del consumo de energía del 0.35%, en comparación con el escenario tendencial que tiene un promedio de crecimiento anual del 2.38%, en el periodo de 2022-2030.



Gráfica 2. Potenciales de eficiencia energética por año PAI-PROURE 2022-2030

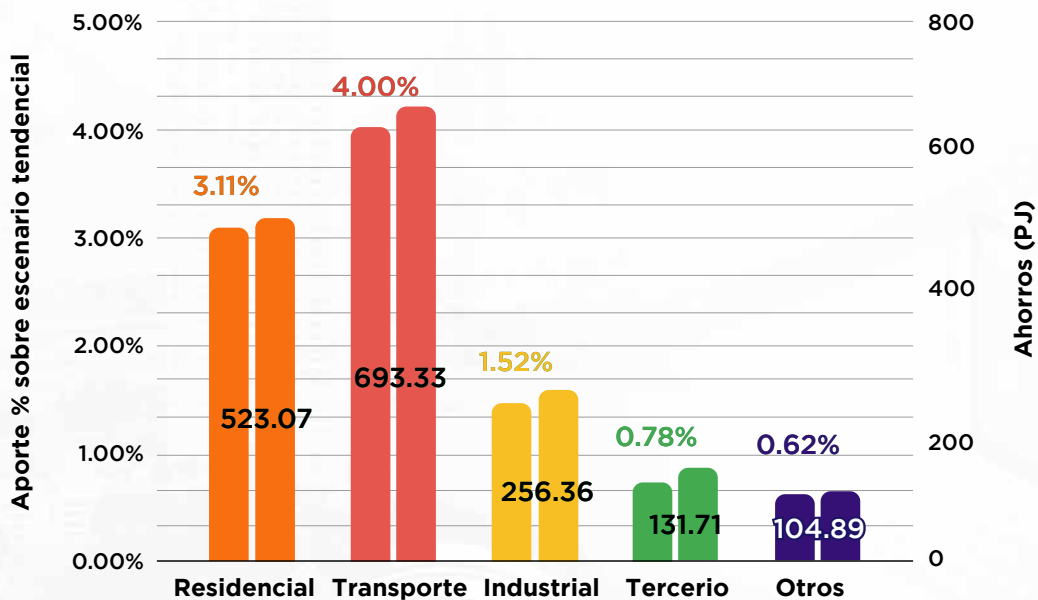
En comparación con los escenarios utilizados en el PEN 2020-2050, las medidas analizadas en el PAI-PROURE resultan en una reducción más acelerada del consumo en el corto plazo (2022-2024) y tasas de crecimiento del consumo energético menores en el largo plazo. El consumo total de energía a 2030 del escenario PROURE tiene un nivel similar al del escenario Inflexión, en el que la apuesta de largo plazo es la electrificación de la economía.

²²El escenario tendencial corresponde a la proyección de consumo teniendo en cuenta únicamente el comportamiento del consumo histórico. Es decir, en este escenario no se contempla el efecto de ningún cambio tecnológico, económico o de intervención de política pública.



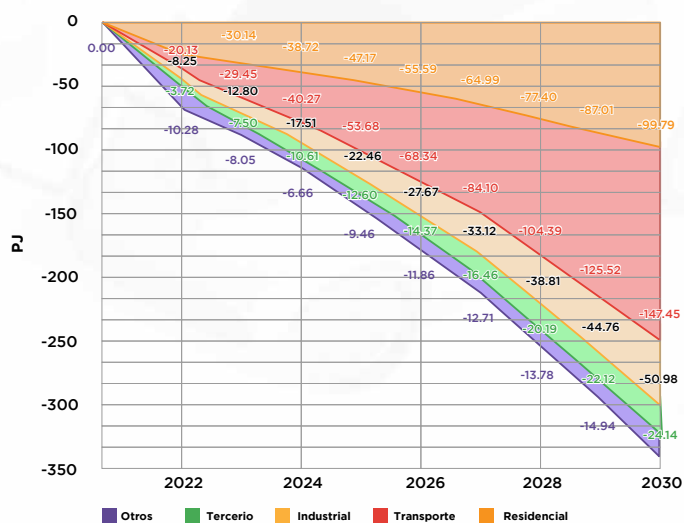
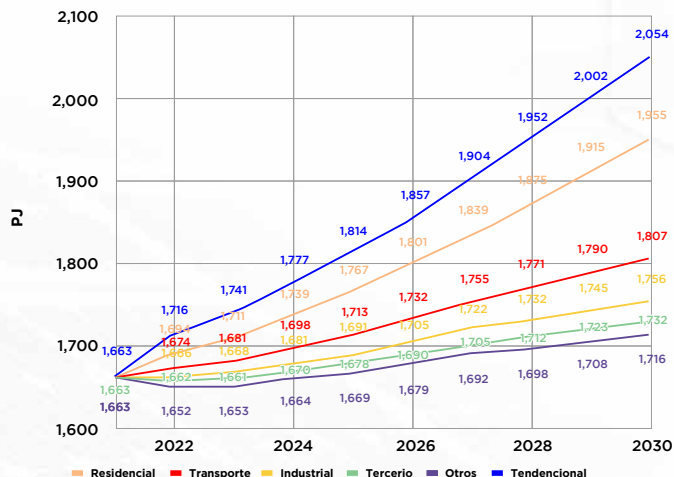
Gráfica 3. Comparación del consumo estimado para el escenario PAI-PROURE 2022-2030 frente al escenario tendencial y los del PEN 2020-2050

El ahorro energético estimado de 1,688 PJ para el periodo 2022-2030 que corresponde al 10% del consumo del escenario tendencial se distribuye en los sectores analizados de la siguiente manera: el sector residencial participa con 3.11%, el transporte con 4%, el industrial 1.52%, el terciario 0.78%. Los otros sectores modelados aportan en conjunto el 0.62%, estos sectores son: termoeléctrico 0.15%, la producción y transporte de hidrocarburos 0.16%, la minería 0.07%, la adopción de métodos de construcción sostenible 0.23%, el almacenamiento de energía eléctrica 0.01% y los distritos térmicos 0.002%.



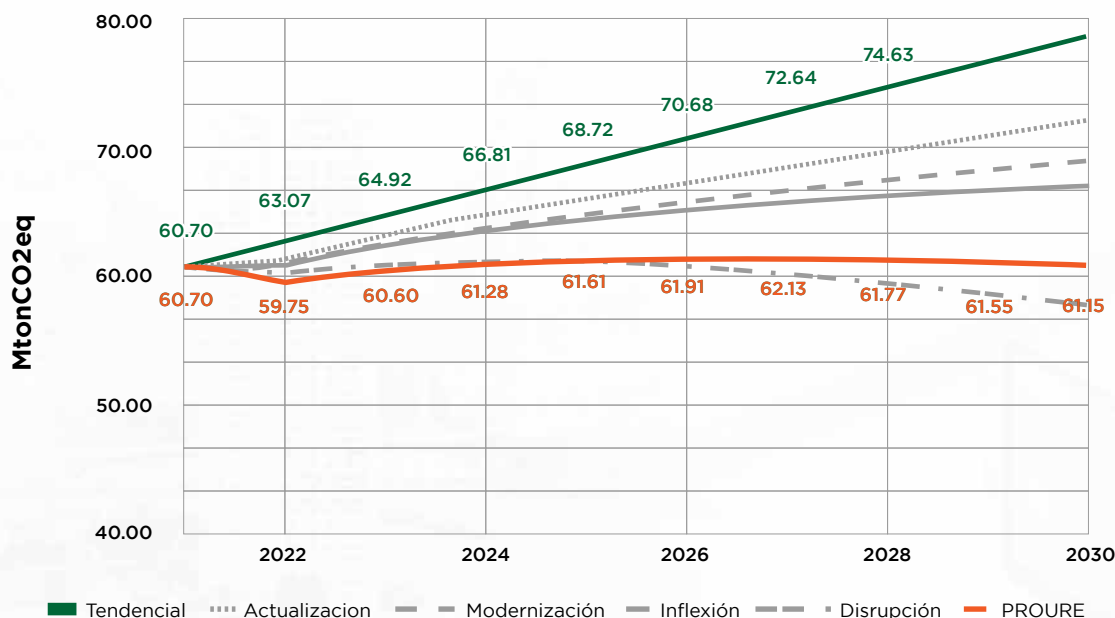
Gráfica 4. Reducción de consumo energético sobre escenario tendencial de las medidas analizadas en el PAI-PROURE 2022-2030 por sector

Las medidas analizadas por cada sector permiten simular una senda de crecimiento del consumo agregado de energía partiendo del escenario tendencial. La participación de cada sector en el comportamiento a lo largo del periodo bajo análisis se presenta en la siguiente gráfica.



Gráfica 5. Ahorros potenciales en el consumo de energía de las medidas analizadas en el PAI-PROURE 2022-2030 por sector

Con respecto a las emisiones de CO₂, el ejercicio del PAI-PROURE muestra un potencial **reducción de 85.02 MtonCO₂ en el periodo 2022-2030 frente al escenario tendencial.** De este total, 78.93 MtonCO₂ corresponden a emisiones evitadas en los sectores de uso final de la energía (92%). Al comparar las emisiones del PROURE frente a los resultados obtenidos en el PEN 2020-2050 se puede observar que la trayectoria propuesta en este documento es similar a la resultante del escenario Inflexión.



Gráfica 6. Comparación de las emisiones estimadas para el escenario PAI-PROURE 2022-2030 frente al escenario tendencial y los del PEN 2020-2050

Otro indicador resultante de los ejercicios de simulación corresponde a la relación entre el ahorro potencial de energía y las emisiones evitadas en cada sector. Lo anterior, permite identificar aquellos sectores en los que se requieren menores esfuerzos en términos energéticos para evitar una tonelada de emisiones de CO₂. Este indicador revela que en el sector transporte, termoeléctrico y la producción y transporte de hidrocarburos es donde se podría mitigar 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 habría que realizar un mayor esfuerzo en términos energéticos para reducir 1 tonelada de CO₂ (residencial, terciario).

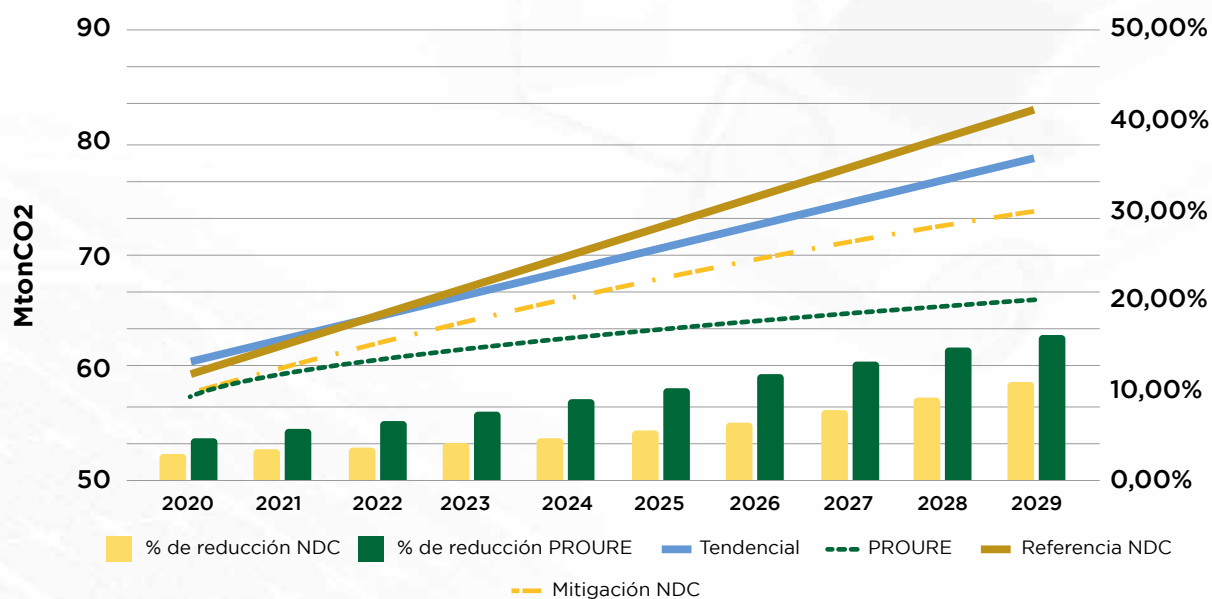
Tabla 3. Relación entre los potenciales de reducción de energía y emisiones por sectores

Sector	Ahorro potencial PJ	Emisiones Evitadas MTonCO ₂	Relación PJ/MTonCO ₂
Residencial	523.07	8.23	63.48
Transporte	673.33	50.33	13.38
Terciario	131.71	6.25	21.07
Industrial	256.36	14.12	18.17
Termoeléctrico	25.46	1.89	13.46
Hidrocarburos	27.67	1.66	16.67
Minería	11.46	0.77	14.86
Edificaciones	38.08	1.75	21.68
Almacenamiento	1.05	0.003	377.80
Distritos térmicos	0.35	0.008	45.17

Comparación entre el PAI-PROURE y la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC).

En marzo de 2021, Colombia actualizó la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) para el periodo 2020-2030. La NDC establece las medidas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), las metas de adaptación al cambio climático y los medios a través de los que se implementarán las medidas propuestas.

Las metas de reducción de emisiones de la NDC parten de un escenario de referencia a mediano plazo y se calculan los potenciales de reducción con la implementación de diferentes medidas. A continuación se comparan los escenarios de referencia de los que parte la NDC y el PAI-PROURE, así como las reducciones estimadas para los sectores de consumo final (residencial, comercial, industrial y transporte).



Gráfica 7. Comparación de las emisiones estimadas para el escenario PAI-PROURE 2022-2030 frente a la NDC

Análisis sectoriales

En esta parte del documento se presentan los resultados de la simulación energética y ambiental de las medidas propuestas en cada sector, así como su respectiva valoración económica a partir de un análisis beneficio-costos.

Las medidas de eficiencia energética estudiadas para cada sector se clasificaron en las siguientes categorías:

Buenas prácticas: Hace referencia al conjunto de acciones asociadas a la forma en cómo se usan, operan y mantienen los equipos de uso final, que han sido identificadas como efectivas y eficaces para reducir el consumo de energía, gracias a la información derivada de la experiencia conjunta de muchos usuarios y expertos especializados.

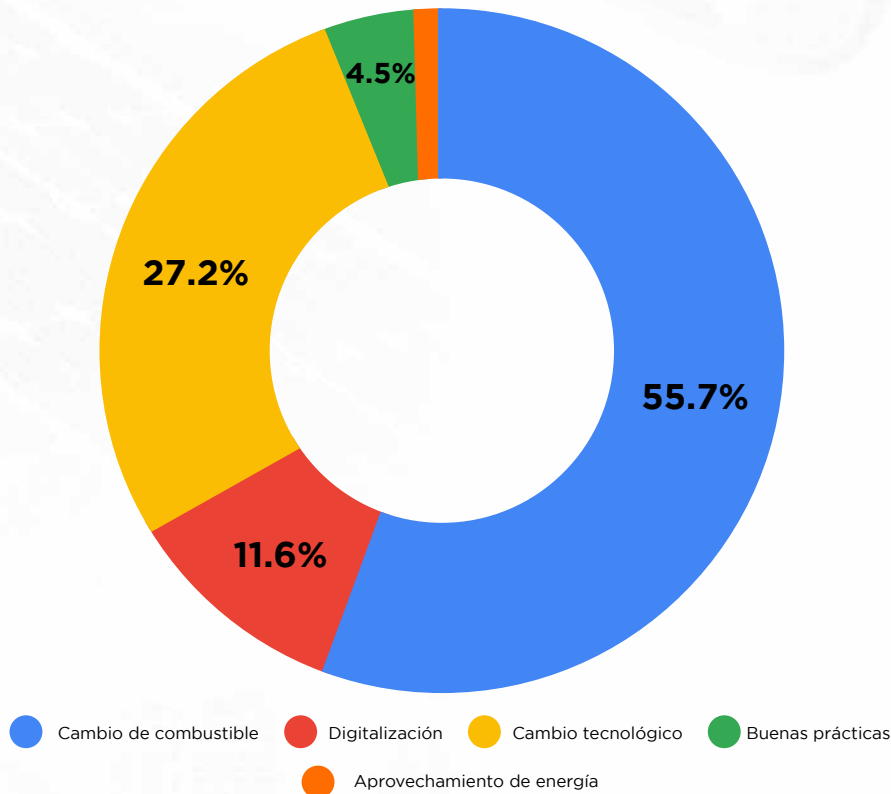
Cambio tecnológico: Considera la incorporación de equipos y maquinaria, que se caracterizan por tener mejores eficiencias en el uso de energía que las tecnologías que se usan actualmente. Aquí se contemplan medidas desde la compra de equipos complementarios para la optimización del uso de energía, como la sustitución de aquellos en los que efectivamente se usa la energía.

Aprovechamiento de energía: Corresponde a las técnicas o métodos que sirven para reducir al mínimo la pérdida de energía de un sistema.

Sustitución de combustible: Comprende las acciones en las que hay un cambio de combustible para aumentar la energía útil de proceso y reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Digitalización: Hace referencia al uso de métodos y dispositivos digitales para optimizar el consumo final de energía.

La participación del tipo de medida en los ahorros potenciales agregados sobre el periodo 2022-2030 estimados en este ejercicio del PAI-PROURE se presentan en el gráfico a continuación.

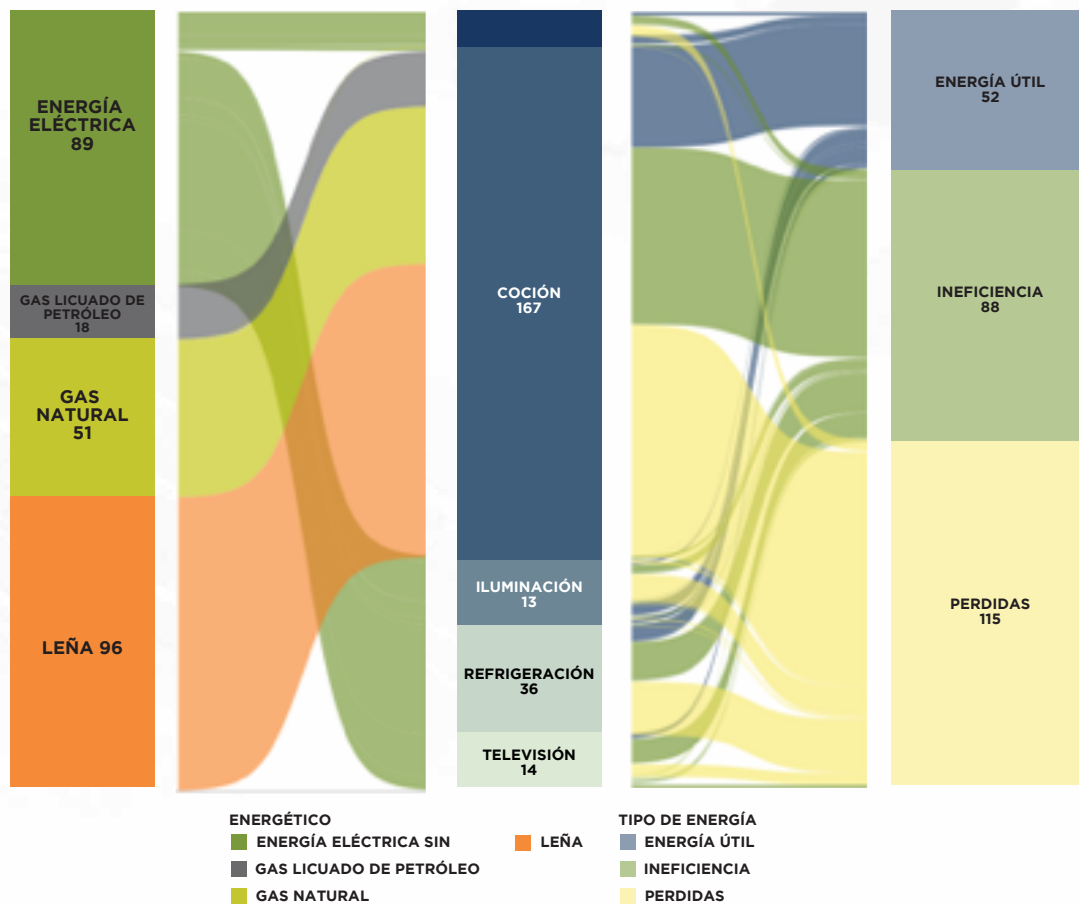


Gráfica 8. Participación del tipo de medida en el ahorro total del PROURE

A continuación, se presentan los análisis realizados en cada uno de los sectores que resultaron en estas metas propuestas. En cada subsección se presenta la línea base con la que parte el análisis, las medidas o acciones estudiadas y el resultado de priorización.

Sector residencial

En 2019, el sector residencial representó el 19.2% del consumo final de energía en el país. Las actividades con usos más intensivos son la cocción con un 68% y la refrigeración con un 15%. Con respecto a la composición por tipo de combustible, el de mayor participación es la biomasa (leña) con 38%, seguido de la electricidad con 35%, el gas natural 20% y el gas licuado de petróleo con 7%.



Gráfica 9. Energéticos y usos del sector residencial (energía en PJ)

Los potenciales de eficiencia energética en el sector residencial se concentran en la reducción de ineficiencias en la cocción, la iluminación y la refrigeración.

El primer factor que explica esta situación es el uso de la leña, que aunque es el energético con mayor participación en la cocción de alimentos, sólo el 10% de los hogares en Colombia cocinan con ella. La alta participación de la leña se explica por la ineficiencia de las estufas en donde se utiliza. De acuerdo con cifras del BEU (UPME, 2018) y el estudio UPME (2019b), la eficiencia de las estufas de leña se encuentra en un rango del 3 % al 4.4%.

La Encuesta de Calidad de Vida (ECV) 2019 indica que hay un total de 1,6 millones de hogares que utilizan leña como combustible principal para cocción de alimentos, los cuales se concentran en áreas rurales (94% del total). A nivel regional, las zonas que tienen un mayor número de hogares que consumen leña son: Andina con un 37.2 %, Caribe con 33.7 % y Pacífica con 21.1 %. (ECV 2019).

En el estudio UPME (2019b) se identifica que las 3 opciones tecnológicas para la sustitución de leña son: la hornilla convencional de energía eléctrica (63% de eficiencia), la estufa de GLP (40% de eficiencia) y la estufa con biogás (37.2% de eficiencia). En el análisis beneficio costo que se realiza en el mismo estudio se encuentra que las alternativas de sustitución de leña con mayores ratios son: la estufa con chimenea utilizando carbón, el uso de energía eléctrica con hornilla convencional o de inducción y las estufas de GLP.

El segundo uso que aporta a la ineficiencia del sector residencial es la refrigeración. Teniendo en cuenta que el consumo promedio por hogar de las neveras es de 71.9 kWh-mes y el consumo promedio de un electrodoméstico eficiente con una prestación igual o superior es de 33.5 kWh-mes UPME (2019a), el recambio tecnológico de estos electrodomésticos empezando por los más antiguos, generaría potenciales ahorros de energía para el país.

De acuerdo con la ECV (2019), el 80.7% de los hogares tienen nevera, es decir, en el país hay cerca de 12.9 millones de neveras. Con respecto a la distribución de las edades de estos electrodomésticos, en UPME (2019a) se identifica que el 45% de los equipos tiene 5 o más años y el 55% restante tiene menos de 5 años.

Por último, la optimización de la demanda a través de la adquisición de herramientas digitales es otra medida con potencial para la eficiencia energética de este renglón de consumo. Dispositivos como los medidores inteligentes permiten obtener información de consumo y precios en tiempo real y con ello, diseñar respuestas de consumo automáticas y óptimas, tanto para el usuario final como para el sistema.

Objetivos específicos

- Sustituir el consumo de leña en el sector rural
- Renovar los electrodomésticos y gasodomésticos por unos con mayor eficiencia
- Promover el uso de la información para el consumo eficiente y consciente de energía

Medidas de eficiencia energética analizadas

Teniendo en cuenta lo anterior, las acciones y medidas analizadas en este ejercicio para el sector residencial corresponden a la sustitución de combustibles para la cocción, la renovación de equipos y el mejoramiento de iluminación. Como complemento a estas medidas, se estudiaron los efectos que tendría la adopción de medidores avanzados.

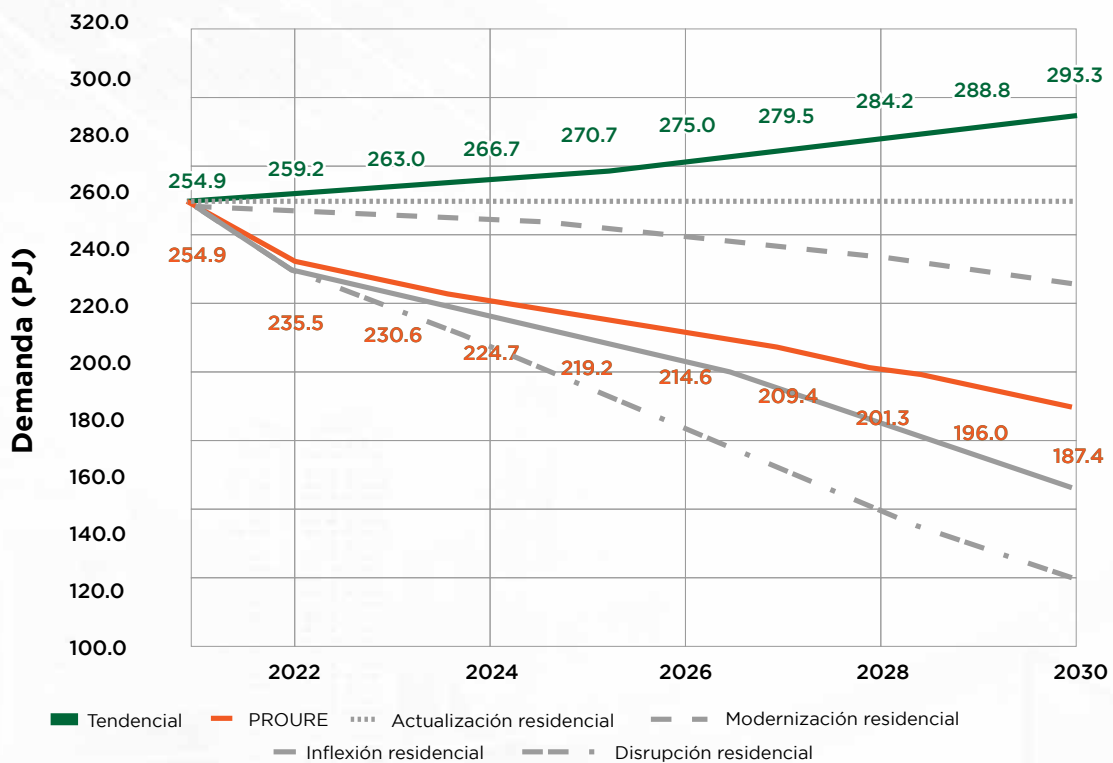
Tabla 4. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector residencial

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Cambio tecnológico	1. Renovación de equipos de uso final	1.1. Adquisición de neveras etiqueta A 1.2. Adquisición de estufas eficientes
	2. Adquisición de iluminación eficiente	2.1. Adquisición de luminarias LED
Cambio de combustible	3. Sustitución de combustibles	3.1. Sustitución de leña para cocción por GLP o energía eléctrica en el sector rural
Digitalización	4. Promoción de consumo inteligente	4.1. Instalación de medidores inteligentes

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Las medidas simuladas para el sector residencial arrojan una reducción potencial del consumo energético de 523 PJ en el periodo 2022-2030 frente a un escenario de consumo tendencial. Esta energía representa una reducción del 2.8% del consumo total del escenario tendencial para ese sector.

Si comparamos el consumo del sector residencial resultante de este PAI- PROURE frente los escenarios simulados en el Plan Energético Nacional PEN 2020-2050 para este mismo sector, se observa que con las medidas propuestas en el lapso de los próximos 9 años se podrían alcanzar niveles cercanos al escenario de Inflexión. Si se compara el escenario PROURE frente a los demás escenarios se obtiene que éste es menor en 18% y 13% frente a los escenarios Actualización y Modernización respectivamente. Mientras que es mayor en 5% al Inflexión y 13% al Disrupción.



Gráfica 10. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector residencial.

Para priorizar las medidas propuestas y analizadas para el sector residencial se cuantifican sus impactos energéticos y de emisiones evitadas. A continuación, se presentan los ahorros en la demanda de energía estimados por cada medida, así como las emisiones de CO2 evitadas por la implementación de las mismas.

Tabla 5. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector residencial

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2021-2030) TonCO2	%	Aporte global %
Compra de neveras etiqueta A	71.31	13.63%	3,288,183	39.91%	26.77%
Mejora de eficiencia en la cocción en ciudades	86.96	16.62%	1,885,918	22.98%	19.76%
Luminarias LED	53.7	10.27%	2,476,166	30.05%	20.16%
Sustitución de leña sector rural por GLP o energía eléctrica	277.64	53.08%	- 953,550	-11.97%	20.75%
Instalación de medidores inteligentes	33.46	6.40%	1,542,996	18.73%	12.56%
Total	523,07		8,239,714		

En cuanto a las potenciales reducciones de consumo de energía, las medidas con un mayor aporte son las asociadas con la cocción. La medida con el mayor potencial de aporte es la sustitución de leña en el sector rural, 53% del ahorro obtenido en la simulación. Como se mencionó en la introducción de esta sección, la alta ineficiencia de las estufas en la que se utiliza la leña implica que un cambio de tecnología y sustitución de combustible generaría reducciones significativas en el consumo energético del sector residencial.

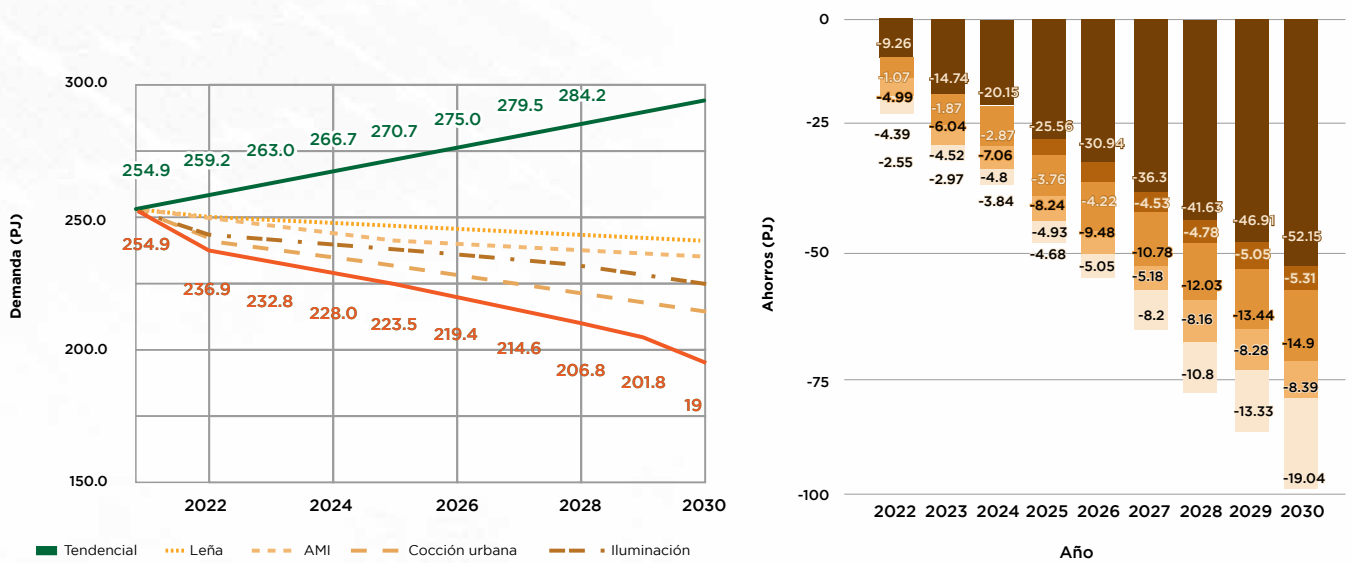
Vale la pena destacar que la sustitución de leña si bien se circunscribe mayoritariamente al sector rural, también se usa de forma marginal en las ciudades, por lo que capitalizar la sustitución de combustibles y el cambio tecnológico en esos usuarios gracias a la facilidad de conexión a otros energéticos, puede potenciar las ganancias en eficiencia energética en la cocción.

De igual manera, se identificó que la sustitución de estufas de gas natural por estufas de inducción con energía eléctrica y la instalación de nuevas estufas con mejores rendimientos también representa un potencial de eficiencia energética importante.

Por el lado del uso de la energía eléctrica, el recambio tecnológico en la refrigeración resultó obtener el tercer potencial de eficiencia energética, con el 13% de la reducción de consumo simulada. Es preciso mencionar que el establecimiento de las metas de sustitución de electrodomésticos consideró el tamaño de su mercado y sus eficiencias según el RETIQ.

Para el caso de los refrigeradores, el mercado aparente en 2020 fue de aproximadamente 888.000 unidades, y en las cocinas a gas de 589.000 unidades. En cuanto a su eficiencia aproximadamente el 69% de las neveras se encuentran en categoría A, el 31% en B y el 1% en C, y para el caso de las cocinas a gas, el 34% están en categoría A, el 49% en B, y 10% en C; considerando las categorías del etiquetado con corte al 31 de agosto del presente año, según Resolución MME 40247 de 2020 (Diagnóstico de electrodomésticos de producción nacional y estrategias para su promoción, UPME, 2021).

Las medidas de instalación de luminarias con tecnología LED y la instalación de medidores inteligentes son las medidas con menores aportes al potencial de ahorro energético simulado con 10% y 6%, respectivamente.



Gráfica 11. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética en el sector residencial en el PAI-PROURE

En cuanto a la reducción de emisiones, los resultados indican que con las medidas propuestas en este PAI-PROURE existe un potencial de mitigar más de 8 millones de toneladas de CO2 en el sector residencial.

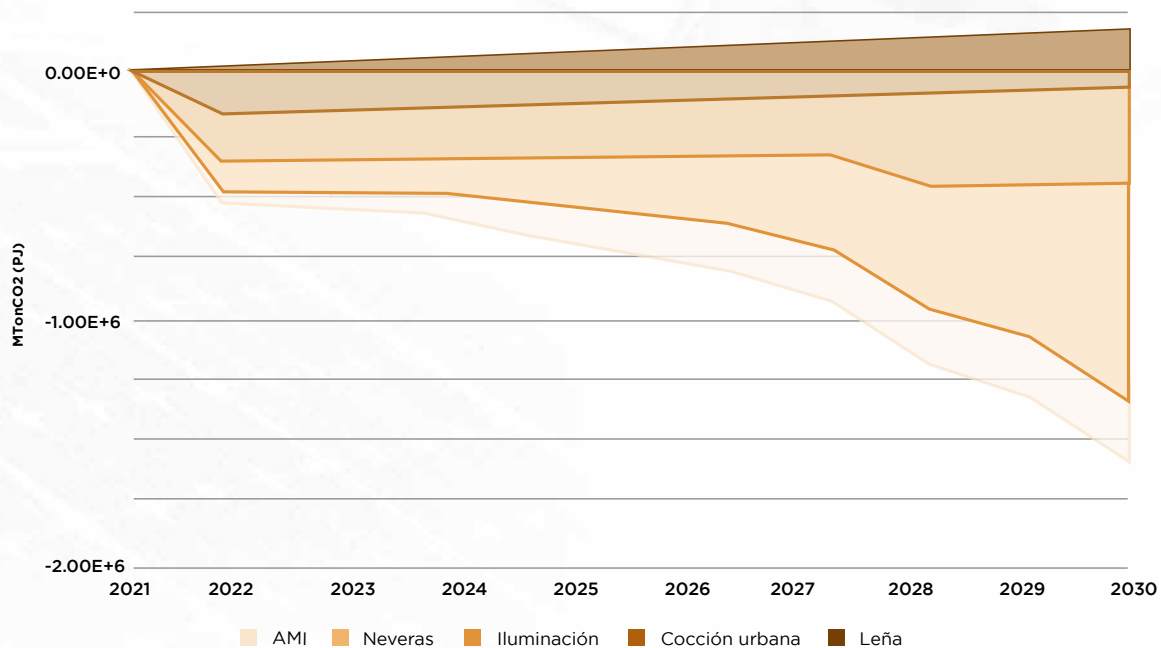
Las medidas con mayor aporte al potencial de reducción de emisiones son las asociadas con el uso de energía eléctrica. La de mayor potencial de aporte es la sustitución de neveras con una participación del 39%, seguida por las luminarias LED con el 30%.

Las medidas asociadas a la cocción tienen dos efectos, el primero corresponde a la reducción de emisiones derivadas de la reducción de consumo de algún energético, por ejemplo en el caso de la sustitución de estufas de gas por unas con mejores rendimientos. El segundo, corresponde al efecto de aumento de emisiones por la sustitución hacia otro energético, por ejemplo, cuando se sustituye leña por consumo de GLP o gas natural²³.

Teniendo en cuenta lo anterior, la sustitución de leña para cocción en el sector rural resulta en un aumento de emisiones, ya que la leña se considera un energético carbono neutral.

²³Las emisiones al quemar la leña como energético se asumen como cero, dado que durante su ciclo de vida captura más emisiones de CO2 de las que se emiten en su combustión.

Los resultados de la simulación arrojan un valor menor a 1 tonelada de CO₂ en el periodo 2022-2030.



Gráfica 12. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector residencial en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Obtenidos los resultados energéticos y ambientales, cada medida se analizó desde el punto de vista económico, con el fin de poder priorizar las medidas y derivar las recomendaciones de política pública asociadas.

Las medidas fueron rankeadas ponderando de igual forma su aporte al potencial de eficiencia energética y de reducción de emisiones. Los resultados del análisis costo-beneficio²⁴ para las medidas analizadas en el sector residencial son los siguientes:

Tabla 6. Análisis B/C para las medidas del sector residencial

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Compra de neveras etiqueta A	si	26.77%	0.61	2.20	1.71
2	Sustitución de leña sector rural por GLP o energía eléctrica	no ²⁵	20.75%	0.36	2.24	1.64

²⁴El detalle del análisis B/C de estas medidas se encuentra en el archivo BC Residencial anexo a este documento.

²⁵En la NDC se plantea la adopción de estufas eficientes con leña en el sector rural. No se contempla la sustitución por GLP o por energía eléctrica.

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
3	Luminarias LED	si	20.16%	4.76	1.89	23.73
4	Mejora de eficiencia en la cocción en ciudades	no	19.76%	0.96	1.29	10.34
5	Instalación de medidores inteligentes	si	12.56%	0.52	1.98	1.24

Teniendo en cuenta estos resultados las recomendaciones para el sector residencial son las siguientes:



La sustitución de neveras a refrigeradores con etiqueta A es la medida con mayor aporte potencial a las metas de eficiencia energética y reducción de emisiones del sector residencial. El análisis costo-beneficio indica que a nivel social y sistémico esta es una medida deseable, puesto que sus beneficios directos y externalidades positivas superan los costos asociados. Sin embargo, se ha identificado que existen barreras desde el punto de vista del usuario final para el recambio de la nevera, pues la inversión aún resulta superior a los ahorros energéticos percibidos por ellos directamente.

El potencial de la sustitución de neveras en la consecución de los objetivos de política pública, ya ha sido identificado previamente por la UPME y por otras entidades del gobierno, en particular el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, por lo que esta medida está catalogada como una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiaada (NAMA²⁶) desde 2017, lo que implica que esta medida tiene mecanismos habilitadores para su implementación.

Los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 son de difícil implementación si es el usuario final quien accede directamente a ellos, ante el volumen de neveras que se deben cambiar. Sin embargo, la sustitución de neveras y el traslado de los incentivos tributarios se puede gestionar a través de los constructores de vivienda VIS y VIP para las nuevas construcciones y los distribuidores de energía eléctrica para los usuarios existentes.

En conclusión, la UPME recomienda incentivos tributarios para las neveras etiqueta A enfocados a usuarios residenciales de estratos 1 y 2, siempre que la adquisición se

²⁶La Acción Nacional Apropiaada de Mitigación (NAMA, en su sigla en inglés), corresponde una medida que permite a los países en desarrollo cumplir con los compromisos de mitigación, en el contexto de la negociación sobre acción cooperativa a largo plazo en el marco del Plan de Acción de Bali adoptado en la 13.a sesión de la COP, celebrada en Bali (Indonesia) en el año 2007. Para mayor información sobre los aspectos relevantes de una NAMA consultar: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Accion_nacional_Ambiental_/Documento_de_NAMAs.pdf

enmarque en un programa de eficiencia energética diseñado por el distribuidor de energía eléctrica. En esta medida, los incentivos pueden ser compartidos entre quien suministra la nevera nueva (distribuidor / constructor) y el usuario final.



La sustitución de leña para cocción en el sector rural es deseable en términos de eficiencia energética. En el marco de este PAI-PROURE, el análisis beneficio-costos indica que si bien es una medida costo efectiva a nivel colectivo y sistémico, los usuarios finales no perciben mejoras económicas directas al sustituir la leña, lo que genera un limitante importante para poder capturar los beneficios en eficiencia energética asociados a esta medida.

La sustitución de leña no es un tema novedoso. Por el contrario, la situación descrita ha sido identificada previamente por la UPME y otras entidades en estudios pasados MADS (2015), UPME(2019b) y si bien se han adelantado esfuerzos en esta materia, la sustitución no se ha dado.

Para esta medida, la recomendación es definir una nueva estrategia: multidimensional y heterogénea. Los incentivos tributarios no son recomendados en este caso, dada la población objetivo y que las barreras no sólo se limitan al costo de las estufas, sino que existen otros aspectos económicos y culturales que deben superarse para ver adelantos efectivos.

La multidimensionalidad implica analizar además de las alternativas energéticas y tecnológicas, aspectos económicos y sociales que impactan la adopción de la medida. La heterogeneidad hace referencia que una solución no es necesariamente aplicable a todas las comunidades, por ello la importancia de realizar un análisis de las particularidades de los territorios en los que se usa leña, que permita identificar las barreras y las oportunidades de implementación de la medida en cada territorio.

En cuanto a los energéticos, además de tener en cuenta las alternativas con los combustibles tradicionales, como el gas natural, el GLP, se pueden incorporar nuevas posibles soluciones como son el biogás y la generación distribuida con fuentes no convencionales.

Por el lado tecnológico, también hay que estudiar alternativas de mejoramiento de estufas con nuevos materiales que permitan un mayor aprovechamiento de los combustibles y con ello, reducir los costos unitarios de los sustitutos cercanos. En este sentido, la construcción de capacidades técnicas en los fabricantes de estufas locales de bajo costo es fundamental para reducir los costos variables asociados al uso de otros energéticos.

En cuanto al tema económico, el estudio UPME (2019c) señala que la probabilidad que un hogar tiene de consumir leña se reduce con ciertas características físicas de la vivienda, del ingreso del hogar, entre otros. Entre mejor sea el material de los pisos y paredes de la vivienda, o si la vivienda cuenta con acceso a servicios públicos domiciliarios se espera una menor probabilidad de que se consuma leña. Por otro lado, aquellos hogares que reportan ingresos mensuales inferiores a un salario mínimo tiene una probabilidad de 74% de usar leña, la cual va descendiendo hasta 50% para los hogares que perciben entre dos y tres salarios

mínimos y llega a 36% si el hogar percibe más de 5 salarios mínimos mensuales. Adicionalmente, la estrategia debe incorporar otras aristas sociales, tales como campañas informativas, educativas y de salud pública, que permitan superar barreras de tipo cultural en la adopción de sustitutos más limpios y eficientes. Por ejemplo, en UPME (2019c) se encontró que la población donde el jefe de hogar se declara de etnia indígena presenta una mayor probabilidad de consumir leña, que en los hogares que se declaran población de raza negra, por lo que es necesario diseñar aproximaciones diferenciadas teniendo en cuenta la caracterización de la población objetivo de los programas.



La instalación de luminarias LED fue la única medida del sector residencial cuyo análisis beneficio-costó fue superior a 1 desde la perspectiva privada. Lo anterior implica que los costos asociados a la compra de las bombillas LED para este tipo de clientes han alcanzado un nivel de precio tal, que con los ahorros de energía y su mayor durabilidad, quienes los compran puedan recuperar rápidamente el valor en exceso que pagan frente a una bombilla menos eficiente.

Esta situación es el resultado de las mejoras tecnológicas observadas en la última década en la iluminación de interiores, que han permitido de forma simultánea aumentar la eficiencia lumínica y reducir el precio para el usuario final. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los precios de esta tecnología han caído de 70 USD a menos de 10 USD y seguirán disminuyendo, por lo que la adopción de este tipo de tecnologías no debería encontrar barreras de tipo económico para su implementación.

Al igual que para el recambio de neveras, la UPME propone que esta medida tenga incentivos tributarios únicamente a través del constructor de viviendas VIS y VIP que instalen esta tecnología en nuevas urbanizaciones o bajo programas de eficiencia energética diseñados por los distribuidores de energía.



El análisis costo beneficio de la medida de **recambio de estufas ineficientes en el sector urbano** indica que es una alternativa costo efectiva a nivel sistémico y social. A nivel privado el ratio costo beneficio es 0.96, con lo que se concluye que los costos del recambio son relativamente cercanos a los beneficios que el usuario final deriva de esta medida.

Vale la pena señalar que en esta medida se recogen 3 acciones. La sustitución de leña por GLP en una fracción marginal de los hogares, el recambio de estufas de gas natural por unas nuevas con mejores rendimientos y la sustitución de gas natural por energía eléctrica en estufas de inducción en otra fracción de los hogares.

La primera recomendación para esta medida es definir un esquema de etiquetado de gasodomésticos para informar al usuario las posibilidades de mejora tecnológica en las estufas a gas combustible. Dentro de esta recomendación, se propone implementar un programa en conjunto con los comercializadores y distribuidores

²⁷<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=15471>

de gas natural, para que en las revisiones quinquenales de seguridad, se revise la eficiencia de los equipos de cocción. Con estas inspecciones se puede contar con una línea base que permita mapear la eficiencia de las estufas a gas que poseen los hogares y diseñar una estrategia de sustitución a estufas más eficientes.



La última medida analizada en el sector residencial fue la **instalación de medición inteligente AMI**. De acuerdo con los análisis realizados esta es una medida socialmente deseable, sin embargo los análisis de beneficio costo revelan la necesidad de identificar un esquema de financiamiento en el despliegue de la tecnología, en donde los beneficios asociados a esta medida se balanceen de tal manera que quien realice la inversión pueda recuperarla.

Tabla 7. Análisis B/C para las instalación de medidores inteligentes en el sector residencial

Caso	B/C privado	B/C sistema	B/C social	Ahorro energético (2022-2030)		
				Energía Demanda (PJ)	Energía perdidas (PJ)	Total
AMI Usuario	0.52	1.98	6.19			
AMI Distribuidores	52.29	0.60	6.19			
AMI Usuario con IT	0.72	2.02	2.62			
AMI Distribuidor con IT	64.55	0.69	2.62	8.85	24.61	33.46
				26.45%	73.55%	

En la tabla precedente se presentan los resultados del análisis B/C para la medida de instalación de medidores inteligentes en varios escenarios. El primero (mismo caso presentado en la Tabla 5 AMI-Usuario) se supone que el usuario final es quien asume las inversiones del medidor inteligente y no se tienen en cuenta los beneficios tributarios. En el segundo caso (AMI Distribuidores), se asume que el sistema asume el costo de los dispositivos así como la infraestructura necesaria para su operación, de igual forma, no se tienen en cuenta los incentivos fiscales, en este caso los costos de la instalación de AMI se incluyen en el balance del sistema. Los dos últimos casos corresponden a los escenarios en los que se incluye el des cuenta de IVA y renta.

Vale la pena mencionar que en la reciente Ley de Transición Energética (Ley 2099 de 2021), la medición inteligente fue explícitamente incluida como proyecto de gestión eficiente de energía y por ende, se le otorgan los beneficios tributarios de la Ley 1715 de 2014: deducción de renta, exención de IVA y arancel y depreciación acelerada y descuento de renta gracias al Estatuto Tributario. Adicionalmente, señala que los costos de los medidores no podrán ser asumidos por el cliente final.

Teniendo en cuenta lo anterior, la mencionada ley asume de facto que esta es una medida que permite materializar los objetivos de política pública y por ende hace

parte de las medidas recomendadas en este PAI-PROURE para recibir incentivos tributarios.

Finalmente, vale la pena destacar una medida que si bien, no fue contemplada en el modelamiento de potenciales de eficiencia energética, puede ser considerada como un paso previo que habilita la consecución de las metas propuestas. Aquí se hace referencia a la **normalización de instalaciones eléctricas en las viviendas usadas de estratos 1 y 2 para cumplimiento de norma RETIE**, a las cuales se propone otorgar los incentivos de Ley 1715 de 2014.

Sector transporte

La participación del sector transporte en el consumo energético nacional fue del 41% (550 PJ) en 2019. El modo que representa el mayor consumo es el carretero (88%) seguido del aéreo (10%), el marítimo (1%) y el fluvial y ferroviario cada uno con el 0.1%.

En cuanto a consumo energético, los vehículos con mayor participación se encuentran en el transporte de carga (camiones y tractocamiones) con un 36%, el transporte público de pasajeros (buses, busetas, microbuses y taxis), con un 34%, seguidos de los automóviles y camionetas con un 16% y por último las motocicletas con un 14%.

Los energéticos predominantes en este sector son combustibles líquidos derivados del petróleo 96% (gasolina motor 46%, diésel oil 40%, Jet fuel 10%), este porcentaje incluye 6% de las mezclas de etanol y biodiesel. El gas natural vehicular tiene una participación del 3%

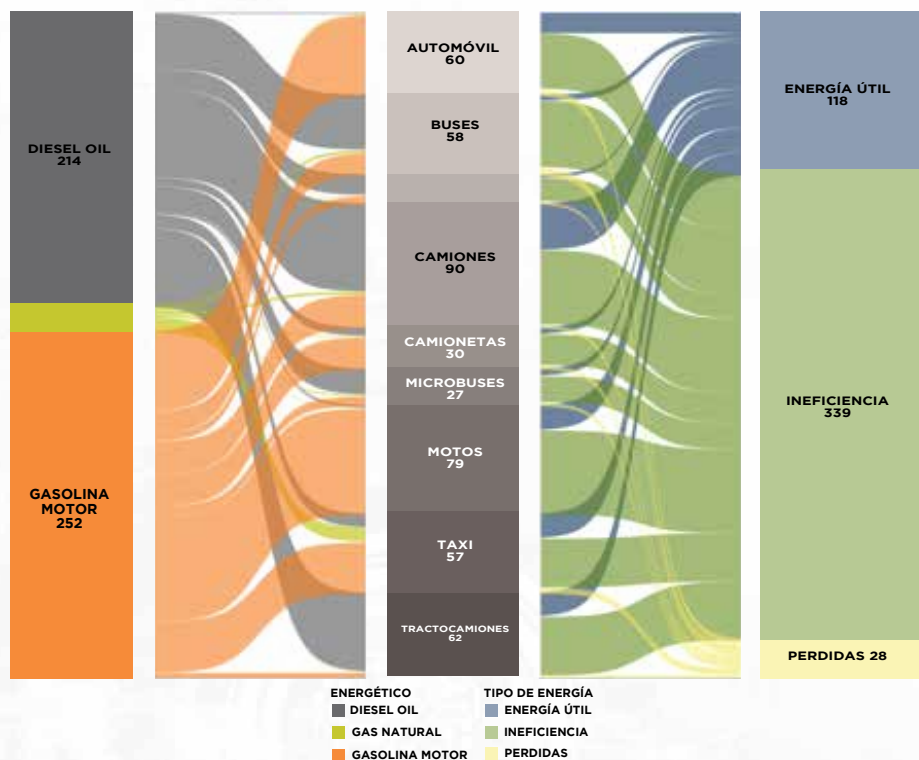
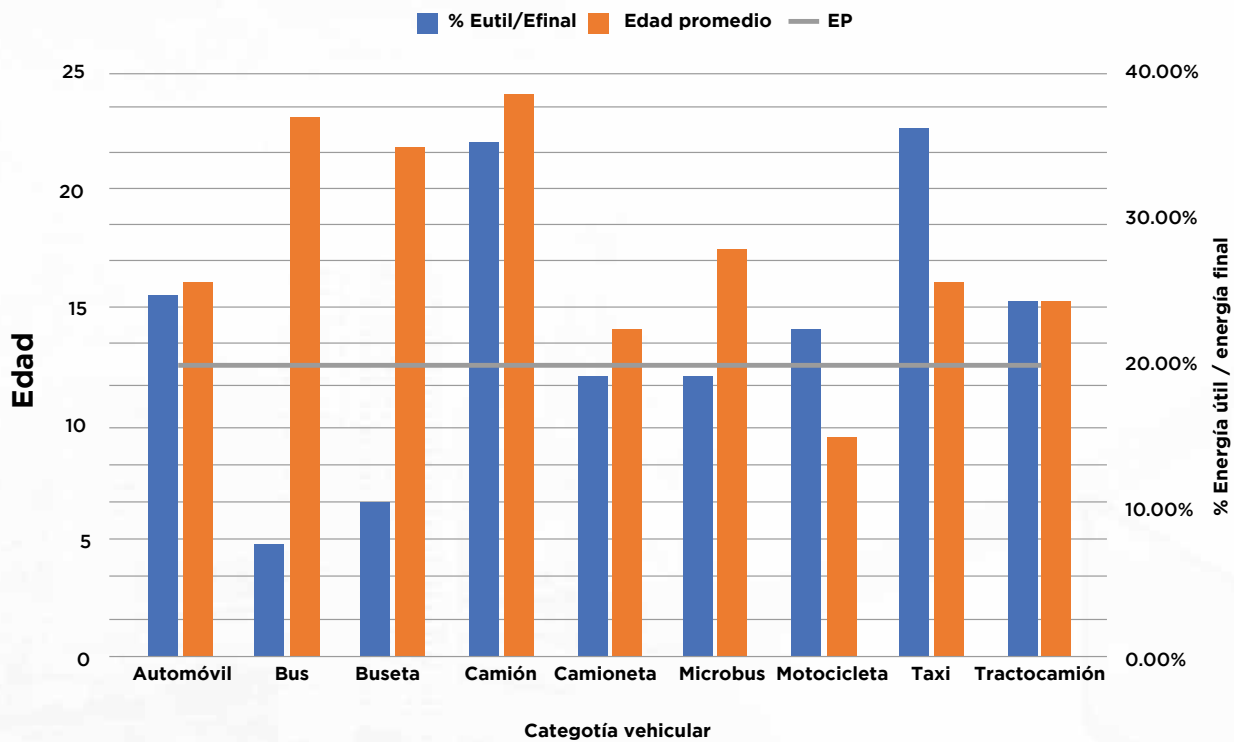


Gráfico 13. Energéticos y usos del sector transporte carretero (energía en PJ)

Los potenciales de eficiencia energética para el sector transporte están en la modernización de la flota y en la adopción de nuevas tecnologías que permitan la sustitución de combustibles.

En cuanto a la modernización de la flota, es preciso señalar que la edad promedio del parque automotor del país es de 12.5 años (UPME, 2020b). Sin embargo, hay clases vehiculares con mayores edades, tales como los camiones, cuya edad promedio es de 24 años, los tractocamiones 15 años y los buses y busetas que tienen edades promedio de 23 y 21 años, respectivamente. El ascenso tecnológico de estas categorías es determinante en la eficiencia energética del sector, ya que son segmentos en los que el porcentaje de energía útil sobre la energía final son bajos como es el caso de los buses y busetas (7% y 10% respectivamente).

Para los automóviles, camionetas y camperos, los vehículos eléctricos y los híbridos representan una oportunidad de mejora en eficiencia energética, en el segundo caso, gracias a que el motor de combustión interna se acompaña de una batería o con lo que el consumo de combustible puede reducirse aproximadamente en 30% (Zhang et al., 2020).



Fuente BEU(2018), UPME(2020b)

Gráfica 14. Energía útil y edades promedio por categoría vehicular

Con respecto a las posibilidades de sustitución de combustibles líquidos por otras alternativas, la tecnología actual posibilita el cambio a motores de combustión interna que utilizan gases combustibles, vehículos eléctricos enchufables y vehículos con celda de combustible.

Objetivos específicos

- Diversificar la matriz energética del transporte a través de la sustitución de combustibles fósiles en las categorías vehiculares en donde la tecnología permita el ascenso hacia combustibles de cero y bajas emisiones.
- Reducir las ineficiencias en el uso final de la energía a través de la renovación vehicular.

Medidas de eficiencia energética

A continuación, se presenta una tabla en la que relaciona las categorías vehiculares que fueron consideradas en cada una de las medidas y acciones propuestas, así como el energético incluido en el modelo de simulación con el que se calcularon los potenciales de eficiencia energética.

Tabla 8. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector transporte

Tipo de medida	Medida	Acción	Categoría vehicular contemplada en el escenario PROURE
Cambio de combustible	1. Sustitución de combustibles líquidos	1.1. Adquisición de vehículos eléctricos	<p>Particulares livianos: Automóviles, camperos, motos y camionetas</p> <p>Pasajeros livianos: Taxis</p> <p>Pasajeros masivo: Buses y microbuses</p> <p>Carga: Camiones y volquetas</p> <p>Pasajeros masivo: Buses y microbuses</p> <p>Carga: Camiones, tractocamiones y volquetas</p>



Tipo de medida	Medida	Acción	Categoría vehicular contemplada en el escenario PROURE
Cambio de combustible	1. Sustitución de combustibles líquidos	1.2. Adquisición de vehículos nuevos dedicados a gas combustible para el transporte de pasajeros y carga	Pasajeros masivo: Buses y microbuses Carga: Camiones, tractocamiones y volquetas
Cambio tecnológico	2. Renovación de la flota	2.1. Adquisición de vehículos híbridos de tecnología (HEV PHEV) ²⁸	Particulares livianos: Automóviles, camperos y camionetas Pasajeros livianos: Taxis
Digitalización	3. Conducción eficiente	3.1. Adquisición de dispositivos para la conducción eficiente	Pasajeros masivo: Buses y microbuses Carga: Camiones, tractocamiones y volquetas
Cambio de modo	4. Transporte férreo eléctrico	4.1 Construcción de sistemas férreos eléctricos para el transporte de pasajeros o carga.	

²⁸HEV (hybrid electric vehicle): En esta configuración, el vehículo cuenta con dos fuentes de propulsión, un motor a combustión y un motor eléctrico con batería. En los arranques, el vehículo emplea en su preferencia al motor eléctrico, una vez el vehículo alcanza cierta velocidad el motor a combustión comienza a funcionar. La batería de este tipo de vehículos es recargada a través de los frenos regenerativos, quienes se encargan de recargar la batería cada vez que el vehículo frena. Este tipo de vehículos no pueden ser conectados a la red eléctrica para cargar las baterías.

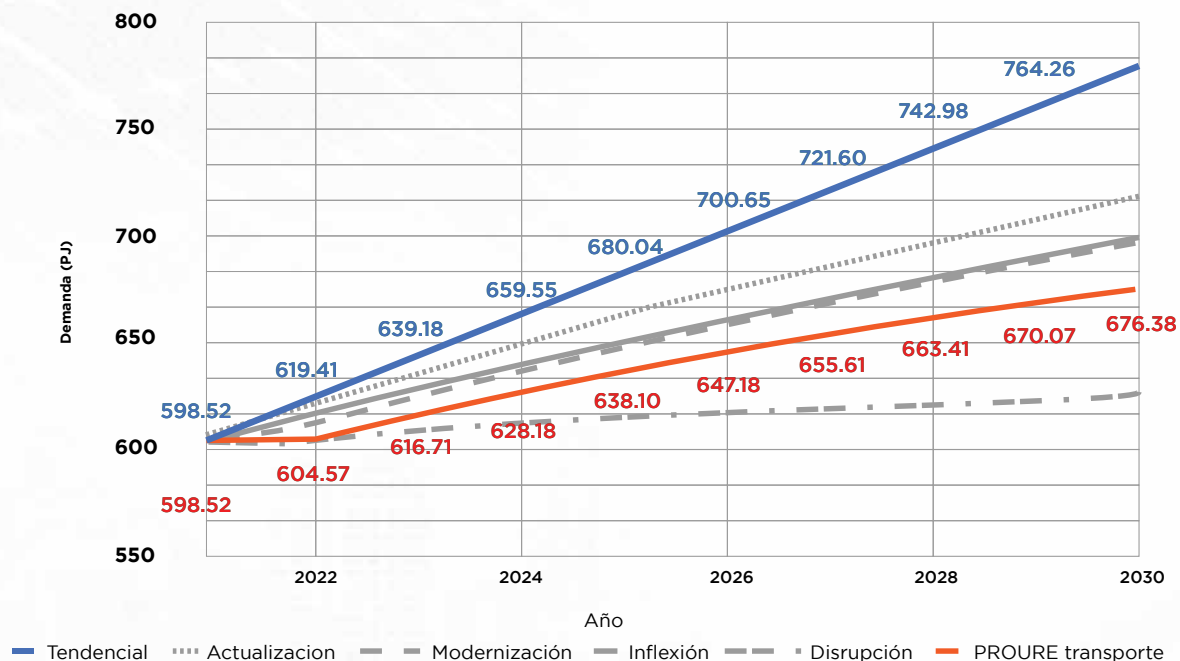
PHEV (plug-in hybrid electric vehicle): A diferencia de los HEV, este tipo de vehículos si pueden ser recargados a través de la red eléctrica, al igual que un BEV. Gracias a un banco más grande de baterías, este tipo de vehículos pueden funcionar exclusivamente con el motor eléctrico por rangos de distancias entre 30 km y 80 km, aproximadamente. Una vez que la energía de las baterías se agota, este tipo de vehículos puede continuar su funcionamiento con el motor a combustión, lo cual extiende su autonomía, brindándole mayor flexibilidad al usuario.

Para el análisis **no se contemplaron los vehículos MHEV** (mild hybrid electric vehicle) en los que un motor eléctrico apoya al motor de combustión en momentos específicos con el propósito de mejorar la eficiencia conjunta del vehículo. En esta configuración, el motor eléctrico es incapaz de impulsar al vehículo por sí solo.

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Las medidas simuladas para el sector transporte arrojan una reducción potencial del consumo energético de 673 PJ en el periodo 2022-2030, frente a un escenario de consumo tendencial. Lo anterior, representa 4% del 10% del potencial total identificado.

Al comparar el consumo energético del sector transporte resultante de las medidas analizadas en el PAI- PROURE, frente los escenarios simulados en el Plan Energético Nacional PEN 2020-2050 para este mismo sector, se observa que con las medidas propuestas en el lapso de los próximos 9 años se podrían alcanzar niveles de consumo inferiores a los resultantes del escenario Actualización, Modernización e Inflexión. Porcentualmente, el escenario PAI-PROURE es menor en 4.93% al Actualización, cerca de 2% inferior a Modernización e Inflexión y 3.76% mayor a Disrupción.



Gráfica 15. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector transporte.

Con el fin de determinar los potenciales ahorros energéticos y en emisiones, las medidas descritas en la Tabla 5 se simularon según categoría vehicular. En el transporte particular se incluye la compra de automóviles, camperos, motos y camionetas eléctricos e híbridos. La medida asociada con el transporte de pasajeros contempla la compra de buses y microbuses eléctricos y a gases combustibles. Por el lado del transporte de carga, la medida incluye la compra de camiones y tractocamiones eléctricos y a gas combustible. En el renglón de taxis se propone la compra de vehículos eléctricos e híbridos.

Finalmente, la medida propuesta para el transporte férreo contiene la construcción del Metro de Bogotá, el tren ligero de Medellín y un tercer tren dedicado al transporte de mercancías. Los resultados energéticos y de emisiones evitadas del ejercicio de simulación en el sector transporte se resumen a continuación.

Tabla 9. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector transporte.

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) TonCO2	%	Aporte global %
Adquisición vehículos nuevos particulares livianos por eléctricos o híbridos (HEV - PHEV)	316.97	47.08%	22,995,628	45.69%	46.38%
Adquisición de taxis eléctricos o híbridos (HEV-PHEV)	24.27	3.60%	1,577,567	3.13%	3.37%
Adquisición de buses y microbuses nuevos dedicados a gas combustible o energía eléctrica	71.46	10.61%	5,937,082	11.80%	11.20%
Adquisición de camiones, tracto camiones o volquetas dedicadas a gas combustible o energía eléctrica	101.43	14.92%	7,992,270	15.88%	15.40%
Transporte férreo eléctrico	54.44	8.09%	4,078,984	8.10%	8.09%
Dispositivo para la conducción eficiente	105.75	15.96%	7,751,545	15.40%	15.55%
Total	673.33		50,333,078		

Los resultados encontrados indican que las participaciones en el ahorro de energía y las emisiones evitadas son directamente proporcionales, dado que todas las medidas implican la reducción del consumo de combustibles líquidos fósiles.

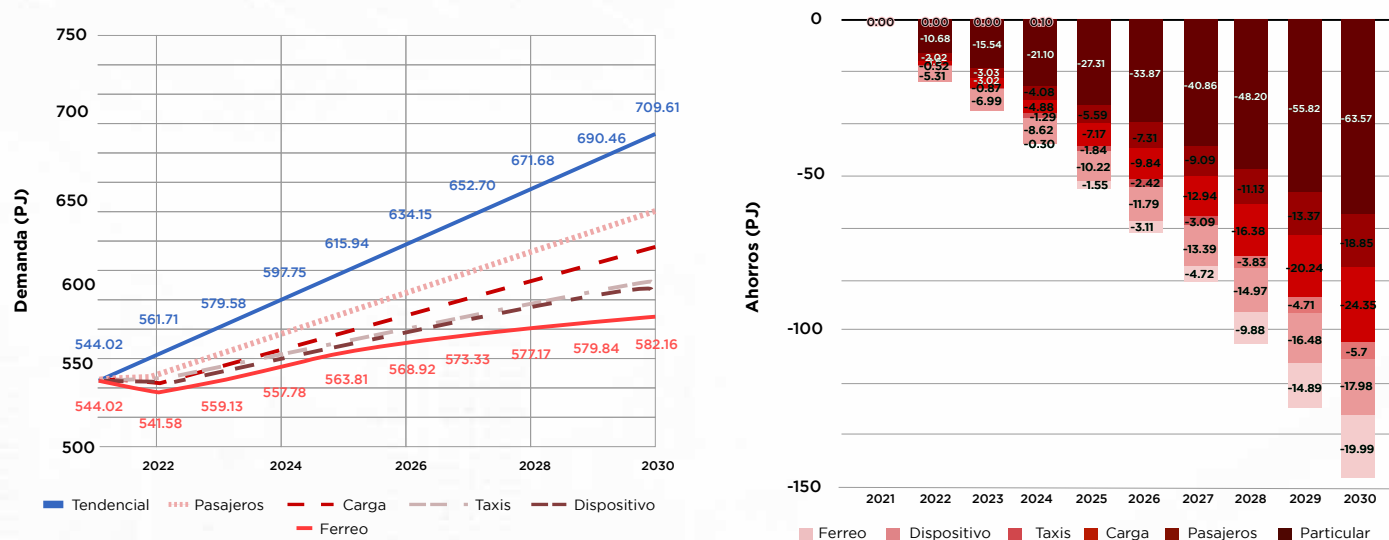
Teniendo en cuenta que los vehículos particulares (automóviles y motos) son los que tienen mayor participación en la flota, la sustitución hacia vehículos eléctricos o híbridos ofrece un potencial de ahorro importante en los próximos 9 años. Bajo el supuesto de que se logran sustituir más de 3 millones de livianos a eléctricos y 503,717 a híbridos se obtiene una reducción del consumo acumulado de 316 PJ, es decir, el 47% del potencial identificado en este sector.

Ahora bien, por ser la categoría con mayor participación en el consumo energético, el ascenso tecnológico en los vehículos de carga tiene un potencial de reducción de demanda de 100 PJ en el periodo analizado.

El transporte de pasajeros (buses y taxis) conjuntamente aportan al potencial identificado en este ejercicio con un 14% y un ahorro de 95 PJ. Por su parte, el transporte férreo aporta con 54 PJ, aunque es preciso mencionar que en la simulación realizada se supuso la entrada de trenes a partir del año 2025, por lo que en los primeros años del periodo bajo análisis esta medida no tiene ahorros energéticos.

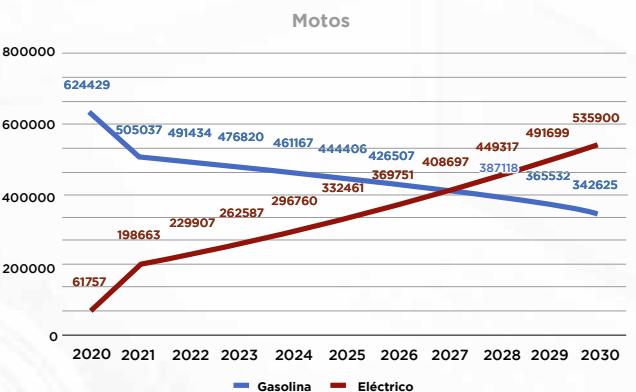
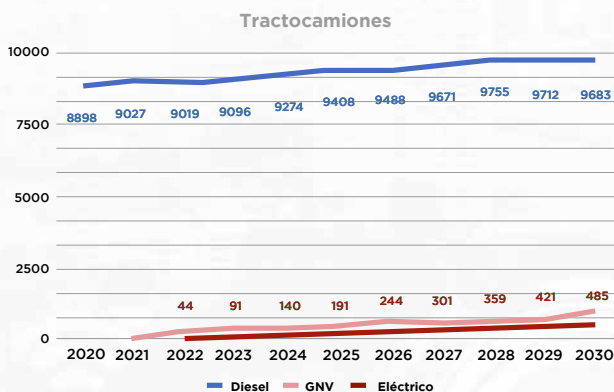
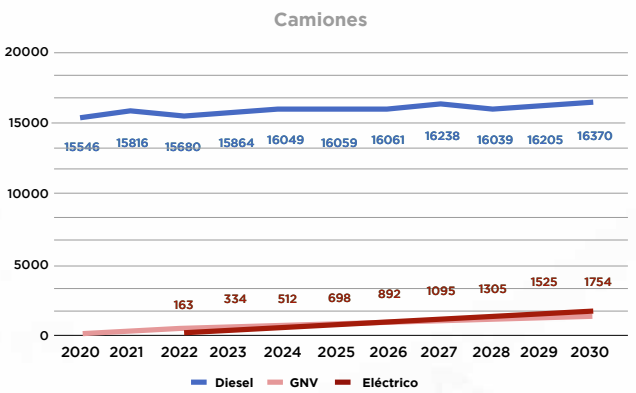
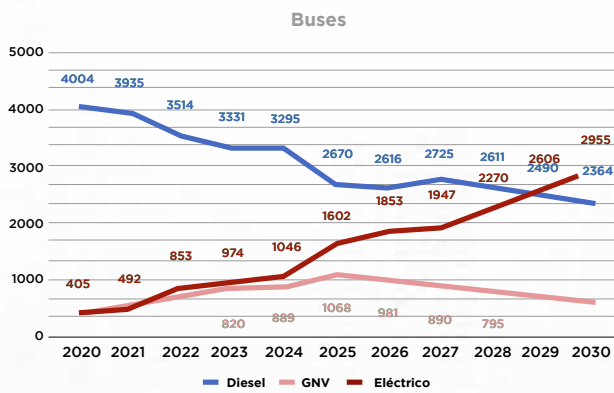
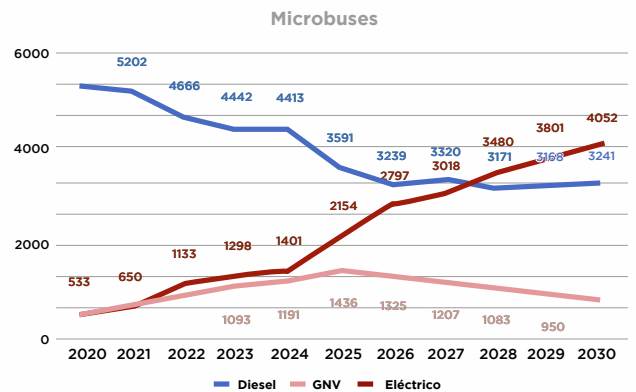
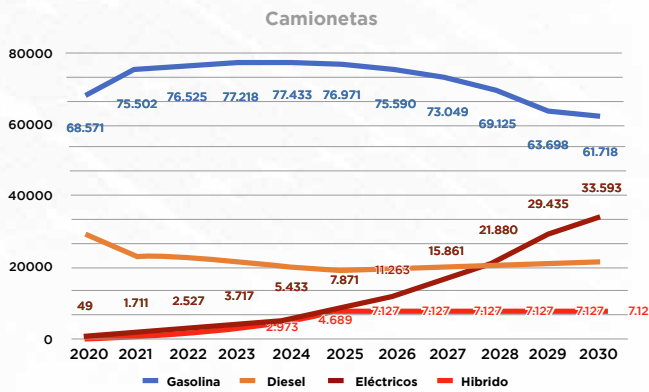
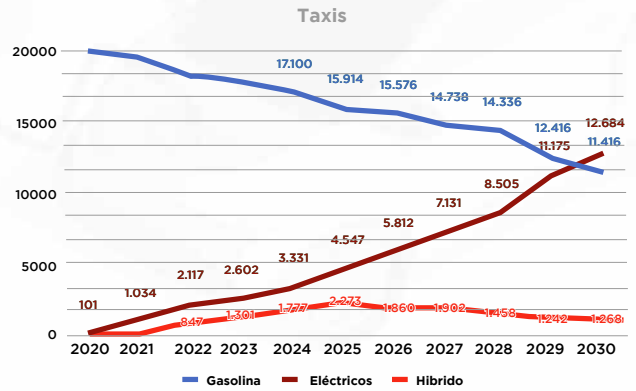
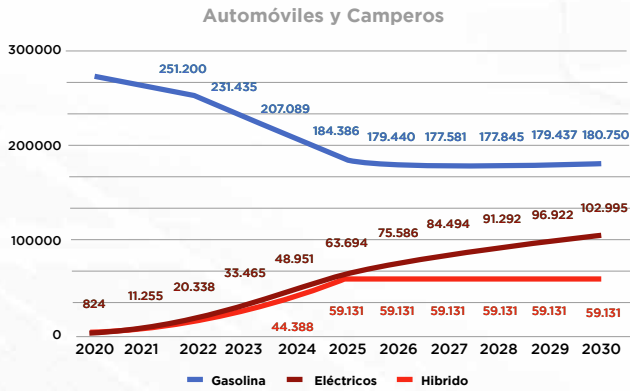
Finalmente, vale la pena destacar que bajo el supuesto de que los dispositivos digitales para optimizar la conducción, efectivamente logran ahorros de combustible del 8%, como afirman sus fabricantes, los vehículos de mayor intensidad de uso (pasajeros y carga) tienen el potencial de disminuir el consumo de combustible hasta en 105 PJ en el periodo 2022-2030 con el uso de dispositivos de esta naturaleza.

Este tipo de dispositivos que combinan la telemática tradicional con los hábitos del conductor y el feedback directo, han sido probados en empresas dedicadas al transporte terrestre de carga en Colombia, como Transurcar, quien a partir de su experiencia manifiesta alcanzar dichos ahorros en el combustible y al mismo tiempo mejorar los hábitos de conducción.



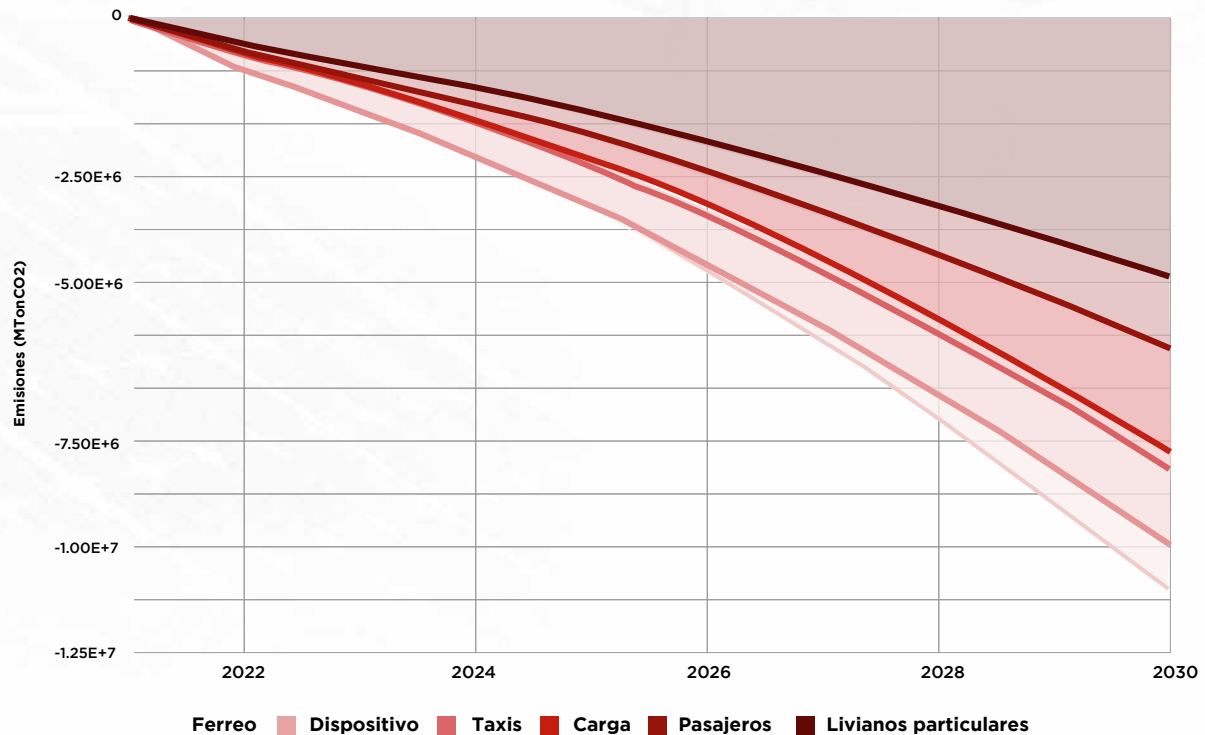
Gráfica 16. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética en el sector transporte en el PAI-PROURE

Para finalizar, se presentan los resultados en materia de proyección de la evolución de las ventas en las diferentes categorías vehiculares analizadas y que fueron insumo para la simulación energética del escenario PAI-PROURE para el sector transporte. La información con la que se realizaron las gráficas a continuación, se encuentra en el Anexo 1.



Gráfica 17. Proyección de ventas anuales por categoría vehicular utilizada para el escenario PAI-PROURE

Como se mencionó anteriormente, los resultados de la simulación en términos de emisiones evitadas son proporcionales al ahorro energético, por lo que las medidas con mayores ahorros son las mismas que tienen las mayor cantidad de emisiones evitadas.



Gráfica 18. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector transporte en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Obtenidos los resultados de la simulación de las medidas en términos energéticos y ambientales, cada medida se analizó desde el punto de vista económico, con el fin de poder priorizar las medidas y derivar las recomendaciones de política pública asociadas.

Las medidas fueron rankeadas ponderando de igual forma su aporte al potencial de eficiencia energética y de reducción de emisiones. Los resultados del análisis costo-beneficio²⁹ para las medidas analizadas en el sector transporte son los siguientes:

Tabla 10. Análisis B/C para las medidas del sector transporte

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Adquisición de vehículos particulares por VE e híbridos	Sólo VE	46.38%	0.60	0.49	0.76
2	Dispositivo de conducción eficiente	no	15.55%	5.46	-	2.20
3	Adquisición de camiones, tracto camiones o volquetas dedicadas a gas combustible o energía eléctrica	Solo VE	15.40%	0.51	0.54	2.45

²⁹El detalle del análisis B/C de estas medidas se encuentra en el archivo BC Transporte anexo a este documento.

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
4	Adquisición de buses y microbuses nuevos dedicados a gas combustible o energía eléctrica	Solo VE	11.20%	0.35	0.55	2.64
5	Transporte férreo eléctrico	si	8.09%	3.84	0.09	1.16
6	Adquisición de taxis eléctricos o híbridos (HEV-PHEV)	Solo VE	3.37%	0.56	0.69	2.28

Teniendo en cuenta estos resultados las recomendaciones para el sector transporte son las siguientes:



Los vehículos eléctricos e híbridos para el transporte liviano, tanto particular como de pasajeros (taxis) resultan tener una relación B/C privada y sistémica menor que 1. Lo anterior indica que, el costo total de propiedad de estos vehículos es mayor frente a un vehículo de combustión interna y los costos asociados a la infraestructura de recarga puede suponer una barrera de entrada para el desarrollo de estas tecnologías.

En cuanto al B/C social, para la categoría particular el análisis arroja un valor inferior 1. Lo anterior, indica que otorgar otros beneficios además de los ya contemplados en el ejercicio no es eficiente desde el punto de vista social. Caso contrario ocurre en el recambio tecnológico de la flota de taxis, en el que por los altos factores de utilización se justifica el otorgamiento de incentivos tributarios que incentiven la compra de estos vehículos, así como la infraestructura de recarga pública o privada necesaria para su operación.

Teniendo en cuenta lo anterior, la recomendación es que la compra de taxis híbridos y eléctricos, así como la infraestructura de recarga pública o privada para vehículos eléctricos para cualquier categoría debe recibir incentivos tributarios. Esto se encuentra en sintonía de lo identificado en el estudio UPME (2020b) en donde los taxis resultan ser la categoría vehicular con mayor probabilidad de ascenso tecnológico.

Para el caso de los vehículos particulares, la política pública ha avanzado en su promoción. La Ley 1964 de 2019 establece beneficios económicos que permiten el desarrollo de vehículos eléctricos y de cero emisiones, como lo son: el impuesto vehicular no podrá superar el 1% del valor comercial del vehículo, descuentos en la revisión técnico - mecánica y en el seguro obligatorio de accidentes de tránsito SOAT, además se fomenta el despliegue de infraestructura de carga y la incorporación de vehículos eléctricos en los sistemas de transporte masivo y en la flota oficial, entre otros.

Por otro lado, está el Decreto 191 de 2021 del Ministerio de Transporte, que establece la identificación de los parqueaderos preferenciales para vehículos eléctricos con un logotipo y color. La Resolución 40405 de 2020 del Ministerio de

Minas y Energía define las condiciones técnicas para que las estaciones de recarga de combustible fósil, puedan ampliar la oferta a energía eléctrica. Asimismo, se expidió la Resolución 40223 de 2021 del Ministerio de Minas y Energía, por medio de la que se establecen condiciones mínimas de estandarización de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

Adicionalmente a las medidas ya adoptadas, la recomendación para motivar la compra de vehículos eléctricos a nivel particular tiene varias aristas: La primera tiene que ver con el resultado obtenido con relación beneficio-costos a nivel privado, es en este sentido la recomendación es adoptar esquemas tributarios en los que se internalicen los impactos ambientales que tienen los vehículos en el medio ambiente y la salud de los ciudadanos. Lo anterior es de suma importancia para motivar la compra de nuevos vehículos y con ello lograr la renovación de la flota y también para orientar las decisiones hacia tecnología de 0 emisiones.

La segunda está relacionada con el desarrollo de capacidades locales, la creación de empleo y la generación de spillovers en la economía local. El análisis B/C refleja que los costos de la cadena de servicios de las tecnologías actuales son sustanciales. Ahora bien, si tenemos en cuenta que un posible factor en la decisión de compra de un vehículo eléctrico puede depender de qué tan fácil sea conseguir servicios técnicos y de mantenimiento para este tipo de automóviles, así como de la disponibilidad de repuestos a nivel nacional; el despliegue de una flota eléctrica debe estar acompañada del desarrollo de una industria local de mantenimiento e incluso de ensamble y fabricación de partes que coadyuven a superar estos limitantes.



El análisis B/C de los **dispositivos digitales para conducción eficiente** indican que su adopción es económicamente eficiente desde un punto de vista privado, ya que los ahorros energéticos justifican la compra del dispositivo y sus costos de operación. En este sentido, se supone que este tipo de herramientas digitales no requiere incentivos tributarios para su despliegue.

Una de las fallas del mercado que puede limitar la adopción de esta medida es un problema de agencia, ya que quien asume los costos de la inversión, no es quien percibe los ahorros energéticos. En el transporte de carga y de pasajeros existen esquemas en los que los dueños de los vehículos perciben un ingreso fijo independiente del recorrido que realiza el vehículo, por lo que en caso de comprar un dispositivo para la conducción inteligente, quien percibe los ingresos es la contraparte (conductor) que asume los costos del combustible.

Otra posible falla de mercado para esta tecnología son las asimetrías de información. En este sentido, es pertinente divulgar mejor información acerca de los beneficios de estos dispositivos e incluso realizar proyectos demostrativos que permitan evidenciar los ahorros en el consumo energético focalizados en las flotas de transporte de pasajeros de las principales ciudades del país.



Los resultados para el **transporte de carga y de pasajeros** permiten concluir lo mismo que para el sector de vehículos livianos. El costo incremental de la inversión en nuevas tecnologías aún es mayor que los ahorros energéticos y demás

beneficios que se apropian privadamente, por lo que la sustitución de la flota hacia nuevas tecnologías puede verse limitado.

Sin embargo, esta medida resultó socialmente deseable, por lo que es pertinente otorgar incentivos tributarios tanto a la compra de nuevos buses y camiones eléctricos y a GNV, como a las inversiones asociadas con la infraestructura de recarga eléctrica pública o privada.

Sin embargo, las barreras para el ascenso tecnológico en el transporte de carga van más allá del costo de los vehículos. De acuerdo con (UPME 2020c), otros limitantes son: 1) la falta de infraestructura de suministro de energéticos de cero y bajas emisiones, 2) el restringido acceso a crédito por parte de los propietarios y conductores, 3) la variabilidad en los ingresos, 4) la propiedad atomizada, entre el 70% y el 80% del parque de carga son pequeños propietarios, lo que dificulta la renovación a gran escala y 5) la confianza en los vehículos de combustión interna, por lo que cuentan con respaldo técnico tanto para el vehículo como sus partes.

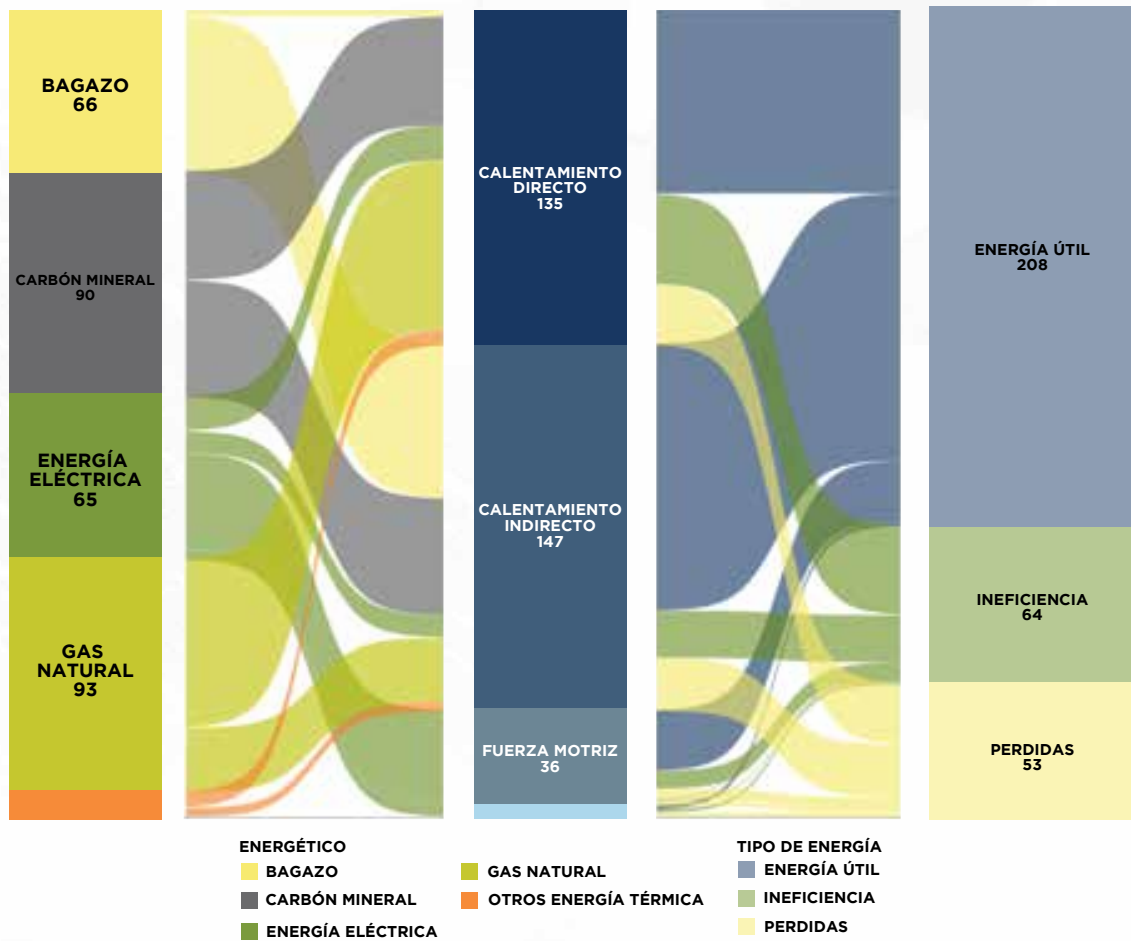


Finalmente, el análisis económico del **transporte ferroviario eléctrico** indica que de cara al usuario final esta es una medida costo eficiente, así como para la sociedad. Estos resultados indican que frente a la alternativa de comprar automóvil, buses o camiones, el transporte férreo trae consigo unas economías de red y otras externalidades positivas que justifican el otorgamiento de incentivos tributarios a cualquier iniciativa de esta naturaleza.

Sector industrial

El sector industrial se caracteriza por tener una canasta energética diversa, pero concentrada en tres tipos de uso: calentamiento directo, calentamiento indirecto y fuerza motriz. Los dos primeros usos representan el 88% del consumo total de energía de este sector. Los subsectores que más contribuyen a este consumo son: alimentos (35 %); minerales no metálicos (19 %) y coquización y refinería (15 %).

Los energéticos más usados en la industria son los combustibles fósiles y el gas natural que tienen una participación del 29% y el carbón mineral del 28 %. El bagazo y la energía eléctrica tienen participaciones del 20%, respectivamente.



Gráfica 19. Energéticos y usos del sector industrial 2019 (energía en PJ)

El mayor potencial de eficiencia energética en el sector industrial se encuentra en los usos de calor directo, en los que se estima una eficiencia promedio del 55% cuando se podrían alcanzar niveles de 68% o incluso del 80% (BEU, UPME 2018) con el BAT.

La brecha estimada en el BEU para los usos de calor indirecto entre el promedio nacional y la BAT nacional es de 1% y con el BAT internacional es de 10%. Finalmente, en cuanto al rendimiento de la fuerza motriz en la industria colombiana se encontró un promedio del 82%, que frente a la eficiencia del 97% del BAT internacional y el 94% del BAT nacional revela una oportunidad de mejora a través de la sustitución de equipos.

Objetivos específicos

- Reducir las ineficiencias de los equipos de uso final de la energía a través del cambio tecnológico en fuerza motriz, calor directo e indirecto y refrigeración.
- Promover las buenas prácticas de operación que reduzcan los consumos de energía, a mínimo costo.
- Generar una cultura de eficiencia energética a partir del concepto de gestión integral de la energía, GIE, que incluye la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, SGEN, bajo la NTC ISO 50001, el control operacional y la submedición avanzada.

Medidas de eficiencia energética

El consumo energético en el sector industrial se puede caracterizar por: i) energético, ii) uso significativo y iii) subsectores de la industria. A partir de los estudios de caracterización del sector industrial realizados por la UPME y otros³⁰, se identificaron medidas de mejoras tecnológicas con sus respectivas eficiencias energéticas y de buenas prácticas operativas con su potencial estimado; por energético, usos aplicables y subsector industrial.

En este ejercicio se estimó el potencial de eficiencia energética asociado con cambio tecnológico de bajo y mediano costo, como la instalación de variadores de frecuencia, sustitución de motores existentes por motores eficientes, implementación de sistemas de refrigeración con CO₂, HFO o hidrocarburos, elementos de mejora de eficiencia en calderas como economizadores y precalentadores, entre otros. De igual forma se analizó el impacto de la adopción de buenas prácticas operativas como control de fugas, reducción de la presión de descarga del fluido de trabajo (aire comprimido o vapor), mantenimiento y reposición de aislamientos, instalación de puertas en gabinetes para sistemas de refrigeración, control y ajuste de subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración, control de la combustión, reducción del exceso de aire, reducción de pérdidas por hollín e incrustaciones, optimización de purgas y optimización de quemadores, entre otros.

El ejercicio realizado estima el potencial de ahorro de la implementación de las medidas mencionadas en cada uno de los subsectores industriales, calculado a partir de una posible senda de penetración según cada actividad industrial.

Por ejemplo, se identificó que la sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia puede generar un ahorro de energía entre 2% y 7%, que se puede aplicar en todas las actividades industriales y que podría tener una penetración de 37% del consumo de energía eléctrica en fuerza motriz.

Adicionalmente, se incluyeron metas y acciones asociadas con la Gestión Integral de la Energía (SGE), que estima un ahorro adicional de entre 6% y 8% e incluye, el diseño e implementación de los SGE bajo la norma NTC ISO 50001, el control operacional y la digitalización. Esta última hace referencia al uso de tecnologías digitales y de gestión de la información, basada en el internet de las cosas, machine learning, inteligencia artificial y big data.

En la tabla a continuación, se presentan las medidas analizadas en el marco de este ejercicio.

³⁰Estudios de caracterización y eficiencia energética en la Industria - UPME INCOMBUSTION (CIIU 10 A 18) y UPME - CORPOEMA (CIIU 19 A 31), UPME. (2018). Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Paginas/estudio-mer-balance-energia-util-para-Co-lombia.aspx>, Estudio Estrategia Nacional Refrigeración CAEM, y Juan Carlos Campo Experto EE E2.

Tabla 11. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector industrial

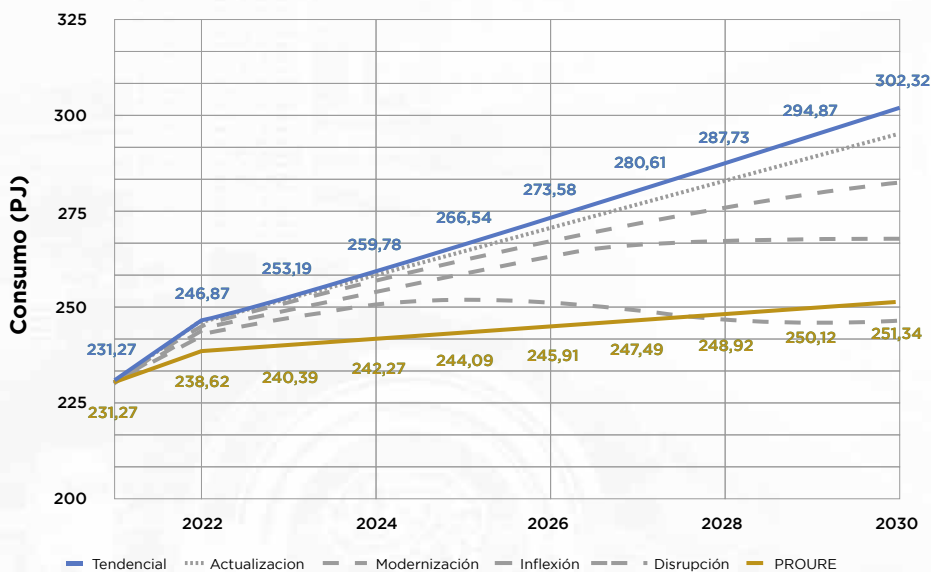
Tipo de medida	Medida	Acción
Buenas Prácticas de Operación - BPO (energía eléctrica)	1. Fuerza Motriz	1.1. Buenas prácticas en la operación y mantenimiento de los sistemas de fuerza motriz, aire comprimido y control de fugas.
	2. Calor Directo	2.1. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos
	3. Refrigeración	3.1. Instalación de puertas en gabinetes para sistemas de refrigeración 3.2. Drop-in para un sistema de refrigeración a un refrigerante con un GWP menor a 1400 3.3. Control y ajuste del subenfriamiento en el evaporador para sistemas de refrigeración y de control de fugas.
Cambio Tecnológico (energía eléctrica)	4. Fuerza Motriz	4.1. Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia.
	5. Refrigeración	5.1. Adquisición de equipos de refrigeración y compresores. 5.2. Adquisición de equipos de control y automatización de refrigeradores. 5.3. Adquisición de equipos para la recuperación de calor de la refrigeración
Buenas Prácticas de Operación - BPO (Otros energéticos - Gas y carbón principalmente)	6. Calor indirecto	6.1. Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor. 6.2. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos
	7. Calor directo	7.1. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos 7.2. Adquisición de equipos de optimización de la combustión y recuperación de calor.

Tipo de medida	Medida	Acción
Cambio Tecnológico (Otros energéticos - Gas y carbón principalmente)	8. Calor indirecto	8.1. Adquisición de economizadores para calderas.
Gestión integral de la energía, GEI	9. Sistemas de Gestión de la Energía	9.1. Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. 9.2. Servicios de certificación de la norma ISO 50001. 9.3. Adquisición de equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001. 9.4. Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Las medidas simuladas en el PAI-PROURE para el sector industrial resultan en un potencial de reducción del consumo energético de 256 PJ en el periodo 2022-2030, frente a un escenario de consumo tendencial. Lo anterior, representa una disminución del 1.41% sobre el consumo total del mencionado escenario.

Al comparar el consumo energético del sector industrial del escenario PAI- PROURE, frente los escenarios simulados en el Plan Energético Nacional PEN 2020-2050 para este mismo sector, se observa que con las medidas propuestas en el lapso de los próximos 9 años se podrían alcanzar niveles de consumo inferiores semejantes al propuesto en Disrupción.

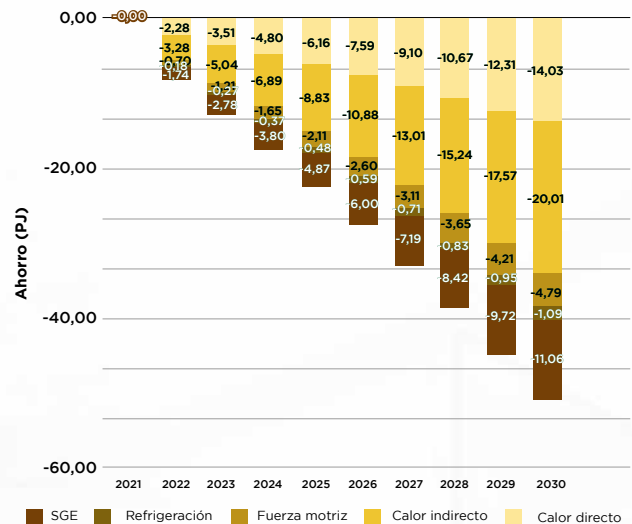
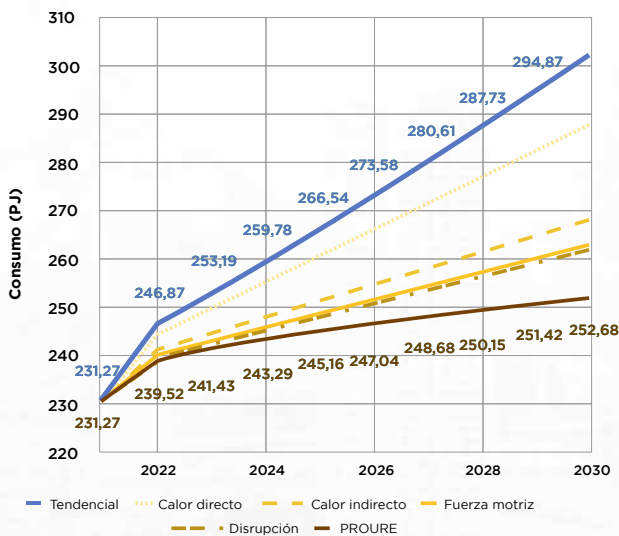


Gráfica 20. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector industrial.

Tabla 12. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector industrial.

Medida ³¹	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
Calor directo	70.44	27.48%	5,096,486	36.08%	31.78%
Calor indirecto	100.74	39.30%	4,654,917	32.95%	36.12%
Fuerza motriz	24.12	9.41%	1,112,058	7.87%	8.64%
Refrigeración	5.47	2.14%	252,439	1.79%	1.96%
Gestión Integral de la Energía (SGEn)	55.58	21.68%	3,010,909	21.31%	21.50%
Total	256.36		14,126,810		

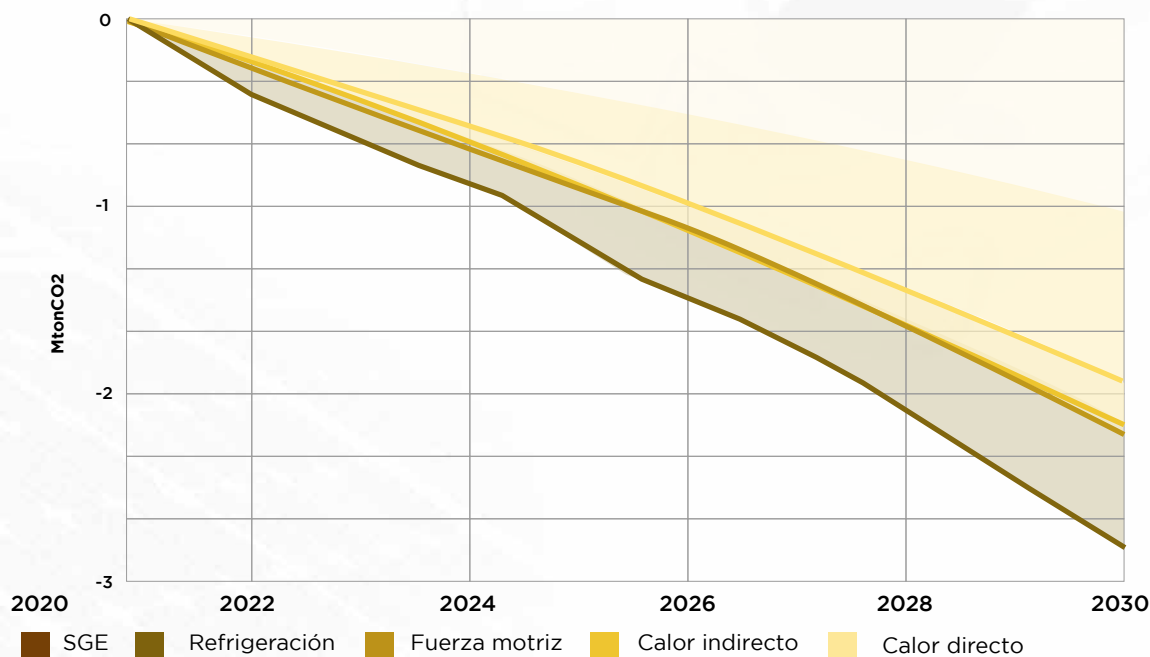
Las medidas de eficiencia energética simuladas para el sector industrial indican que el gran potencial se centra en el uso de calor indirecto (39.3%), seguido por el calor directo (27.48%) y las medidas de SGE (21.67%).



Gráfica 21. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética en el sector industrial en el PAI-PROURE

En términos de emisiones evitadas se evidencia una participación proporcional a los ahorros energéticos, salvo en el caso de calor directo que tiene la mayor participación en este aspecto (36.73%).

³¹En cada medida se tiene en cuenta la adopción de buenas prácticas de operación y cambio tecnológico.



Gráfica 22. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector industrial en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Obtenidos los resultados de la simulación de las medidas en términos energéticos y ambientales, cada medida se analizó desde el punto de vista económico, con el fin de poder priorizar las medidas y derivar las recomendaciones de política pública asociadas.

Las medidas fueron rankeadas ponderando de igual forma su aporte al potencial de eficiencia energética y de reducción de emisiones. Los resultados del análisis costo-beneficio³² para las acciones propuestas para el sector industrial son los siguientes:

Tabla 13. Análisis B/C para las medidas del sector industrial

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	SGEn	si	21.50%	0.53	1.38	4.24
2	Calor directo carbón	si	21.23%	0.05	NA	5.42
3	Calor indirecto carbón	si	19.52%	0.04	NA	7.12
4	Calor indirecto GN	si	8.90%	0.44	0.40	1.71
5	Fuerza motriz	si	8.64%	0.14	3.86	6.05
6	Calor directo GN	si	8.51%	0.37	0.40	7.78
7	Calor indirecto bagazo	si	7.71%	0.78	NA	8.85

³²El detalle del análisis B/C de estas medidas se encuentra en el archivo BC Industrial anexo a este documento.

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
8	Refrigeración	si	1.96%	1.05	3.86	1.42
9	Calor directo EE	si	1.54%	1.47	3.86	29.68
10	Calor directo bagazo	si	0.49%	0.64	NA	5.76

Las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis del sector industrial son las siguientes:



El reto de eficiencia energética para el sector industrial se enfoca en los procesos asociados a la combustión con carbón. En aporte general del uso del carbón para calor directo e indirecto representa casi el 40% del potencial de ahorro en el sector industrial, sin embargo, como se ve en la tabla precedente son las dos medidas con mayores barreras de implementación a nivel privado. Dado el bajo costo de este energético, las inversiones para un mejor aprovechamiento del carbón resultan muy costosas frente a los ahorros económicos del energético.



El mayor potencial de eficiencia energética en la industria está asociado con la adopción de buenas prácticas en la operación, en particular en los sectores de alimentos, bebidas y tabaco, y pulpa, papel e imprenta, para los usos asociados con la **producción de calor indirecto**.

Esta medida resultó beneficiosa para la sociedad y el sistema energético, sin embargo a nivel de vista del usuario final resultó con un beneficio costo menor a 1. Lo anterior revela que hay barreras para su implementación a pesar de que las inversiones previstas con las buenas prácticas son relativamente bajas. Por lo anterior, se recomienda que este tipo de medidas reciban incentivos tributarios.



Del potencial de calor indirecto, se identificaron acciones de **cambio tecnológico**, asociada más a las grandes industrias de los sectores químicos, pulpa, papel e imprenta, alimentos, bebidas y tabaco y textiles y cueros; donde se propone la medida relacionada con el economizador para calderas de más de 1000 BHP, con un potencial de 6% dentro del total encontrado para calor indirecto. La recomendación es que este tipo de tecnología acceda a los beneficios tributarios, según los resultados del análisis beneficio costo para el privado, el sistema y la sociedad.



El segundo potencial más alto de eficiencia energética está asociado con la generación de calor directo para los sectores minerales no metálicos y de hierro y acero. Los resultados del análisis costo beneficio para el calor directo resultan deseables desde el punto de vista social por lo que se recomienda sean objeto del beneficio tributario.



La gestión integral de la energía cuenta con el 21% del potencial del ahorro de eficiencia energética del sector industrial y el mayor aporte está en la industria de

minerales no metalúrgicos y de alimentos, bebidas y tabaco. Estos sectores presentan los consumos más altos en calor indirecto, directo y motriz y al aplicar las medidas de SGE se podrían alcanzar ahorros de entre el 6 al 8% sobre estos consumos.

Por lo anterior y teniendo en cuenta que esta medida es socialmente deseable, se recomienda abordar los proyectos de eficiencia energética con el desarrollo conceptual y metodológico de los SGE, bajo la norma NTC ISO 50001, que en principio buscan la aplicación de buenas prácticas de bajo costo y rápida implementación, para demostrar los beneficios energéticos y económicos y proponer el cambio de los equipos esenciales de los sistemas de vapor y calor (caldera y horno) si se requiere; dimensionando adecuadamente su capacidad e inversión.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis beneficio costo de la implementación de los SGE se recomienda que esta medida sea objeto de beneficio tributario.

Vale la pena señalar que dentro de esta medida se contempla la submedición en usos significativos de energía (USE), ya que la información operativa asociada a los equipos de uso final permite definir los rangos operacionales esperados y detectar desviaciones con respecto a las especificaciones de fabricación y tomar medidas correctivas o preventivas.

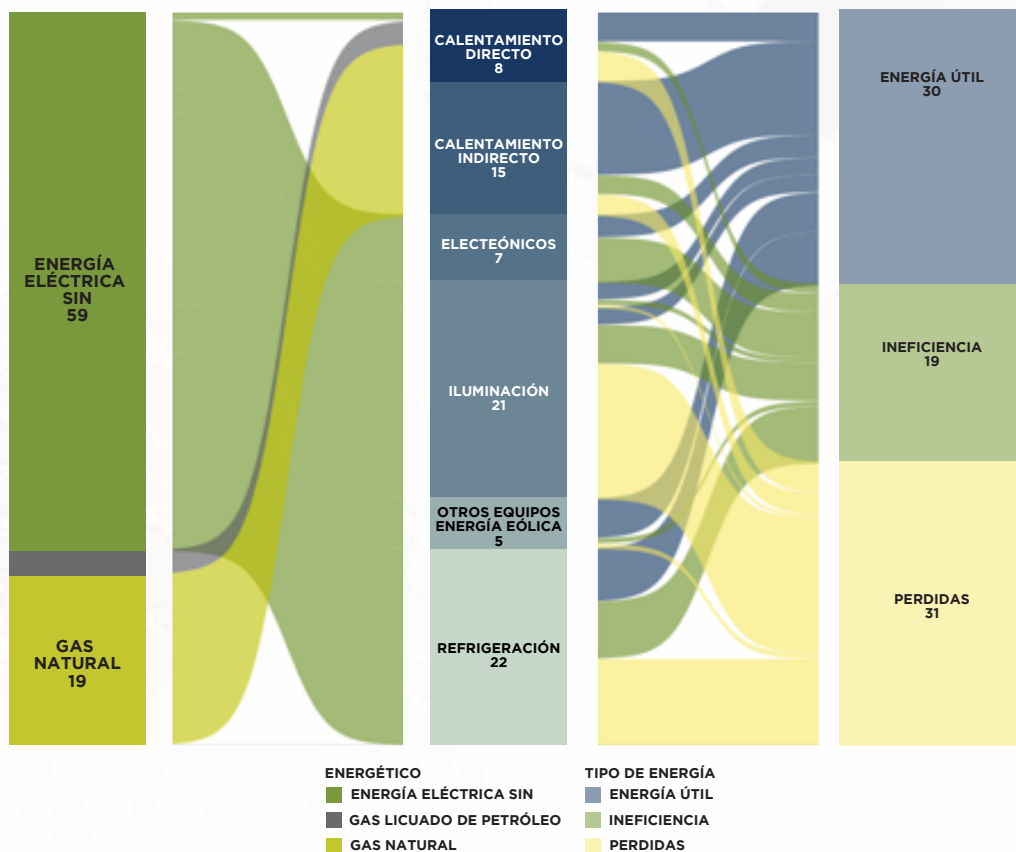


Por último, la UPME insiste en avanzar en la creación y consolidación de centros de evaluación industrial en el seno de las instituciones educativas, como las que se han conformado gracias al proyecto PEVI. A través de esta estrategia se busca: i) fortalecer capacidades técnicas de las universidades en distintas regiones en materia de eficiencia energética, con el fin de que exista oferta local a las que puedan acudir las industrias nacionales; ii) difundir el uso de herramientas de software para diagnóstico e identificación de oportunidades de eficiencia energética; y iii) mejorar la productividad y competitividad de las industrias a través de la implementación e inversión en proyectos de eficiencia energética.

Sector terciario

El sector terciario es el de menor representatividad en el consumo final de energía, en el año 2019 representó el 6%. En este renglón de consumo, los principales usos finales son el calentamiento, la refrigeración y la iluminación.

Con respecto al consumo de energéticos, el más usado es la electricidad que representa el 73 % del total, seguido por el gas natural con un 23% y el GLP en menor proporción con el 5 % (ver Gráfico 23).



Gráfica 23. Energéticos y usos del sector terciario (energía en PJ)

Actualmente, la energía útil sobre la final en el sector terciario es de 33%, situación que indica un potencial de ganancias en eficiencia energética. El BEU señala que con la adopción de las mejores tecnologías disponibles se podrían alcanzar ahorros del 27% con la BAT nacional y 46% con la BAT internacional. Lo anterior puede reescribirse como aumentos en el porcentaje de la energía útil sobre la energía final en un rango entre el 47% al 63% y ahorros del orden de 742 millones de dólares hasta 1,253 millones de dólares.

Las mayores potencialidades de eficiencia energética en este sector se encuentran en el recambio tecnológico de refrigeradores y luminarias, así como en los equipos asociados a los usos de calor indirecto. De igual manera, la adopción de tecnologías de medición y submedición inteligente y de automatización pueden tener potencial de eficiencia energética.

Objetivos específicos

- Fomentar una cultura de adopción de buenas prácticas operacionales.
- Promover el recambio tecnológico en equipos ineficientes de uso final.
- Identificar las potencialidades de eficiencia energética asociadas a las tecnologías digitales.

Medidas de eficiencia energética

En la tabla a continuación se presentan las medidas analizadas para el sector terciario que comprende el sector comercial que incluye hospitales y el sector oficial.

Tabla 14. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector terciario

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas	1. Adopción de buenas prácticas en la operación de equipos de calor directo con energía eléctrica	1.1 Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos
	2. Adopción de buenas prácticas en la operación de equipos de calor directo con otros energéticos	2.1. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos 2.2. Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor.
	3. Adopción de buenas prácticas en la producción de calor indirecto.	3.1. Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor 3.2. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos 3.3. Adquisición de economizadores para calderas.
	4. Adopción de buenas prácticas para los equipos de refrigeración	4.1. Puesta a punto del sistema, ajuste de la temperatura del evaporador y condensador, control de fugas y aislamiento de tuberías. 4.2. Control de la presión de succión y automatización del proceso.
	5. Sistemas de gestión de la energía	5.1. Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. 5.2. Servicios de certificación de la norma ISO 50001.

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas		<p>5.3. Adquisición de equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001.</p> <p>5.4. Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.</p>
Cambio tecnológico	6. Renovación de equipos de fuerza motriz	6.1. Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia
	7. Renovación de equipos de uso final de refrigeración	<p>7.1. Adquisición de equipos de refrigeración y compresores.</p> <p>7.2. Adquisición de equipos de control y automatización de refrigeradores³³.</p>
	8. Adquisición de iluminación eficiente	<p>8.1 Adquisición de luminarias LED</p> <p>8.2. Adquisición de equipos de control y telegestión para alumbrado público.</p>
	9. Climatización	9.1. Adquisición de sistemas de aire acondicionado eficientes.

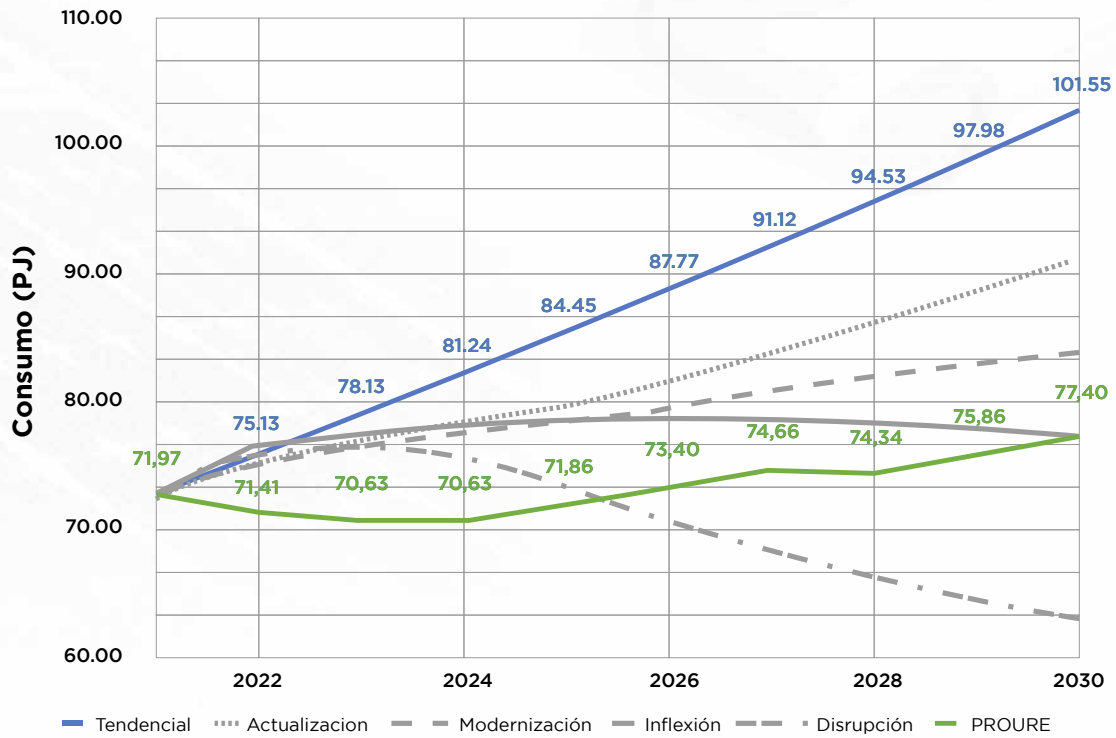
Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Bajo los supuestos utilizados para simular el efecto de las medidas propuestas para el sector terciario, se encuentra un potencial de reducción de consumo energético de 131 PJ en el periodo 2022-2030, frente a un escenario de consumo tendencial. Sobre el potencial de eficiencia energética acumulado en el periodo 2022-2030, el aporte del sector terciario es de 0.78%.

El ejercicio del PROURE para el sector comercial en comparación con las sendas simuladas para el PEN 2020-2050 resulta en un comportamiento diferenciado. En el corto plazo se podría reducir el consumo con la adopción de las medidas mencionadas, lo que resultaría en el largo plazo, en tasas de crecimiento anuales positivas pero moderadas. En el PEN 2020-2050 se tienen 2 tipos de comportamiento, un crecimiento sostenido a largo plazo

³³Unidad Técnica de Ozono Colombia (UTO, 2021). "Estrategia nacional para la implementación de medidas y alternativas que mejoren la eficiencia energética y el impacto ambiental directo de los sistemas y equipos de refrigeración comercial del subsector de tiendas de Colombia"

para Actualización y Modernización (con una menor tasa) y los de Disrupción e Inflexión que estiman una aceleración en el consumo en el corto plazo hasta llegar a un pico de demanda y a partir de allí una disminución de la demanda.

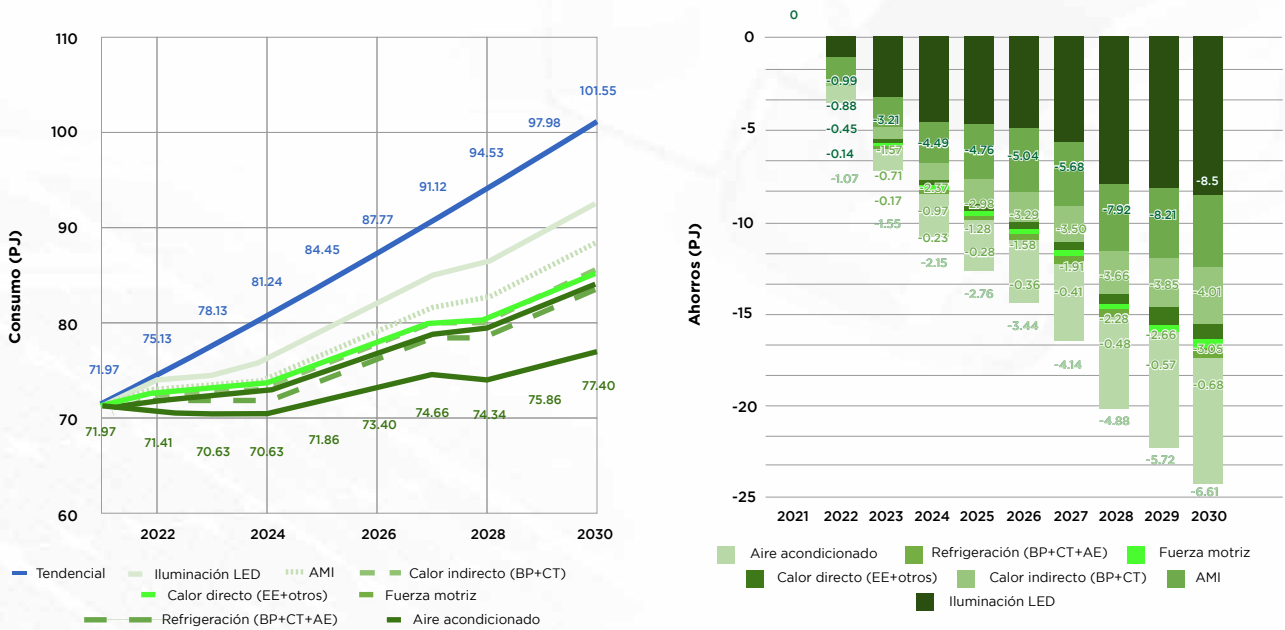


Gráfica 24. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector terciario.

Con respecto a las medidas planteadas para el sector terciario, las de mayores aportes en eficiencia energética son: Iluminación LED (37%), la implementación de medición inteligente AMI con una participación del 19% y el recambio de aire acondicionado (24%).

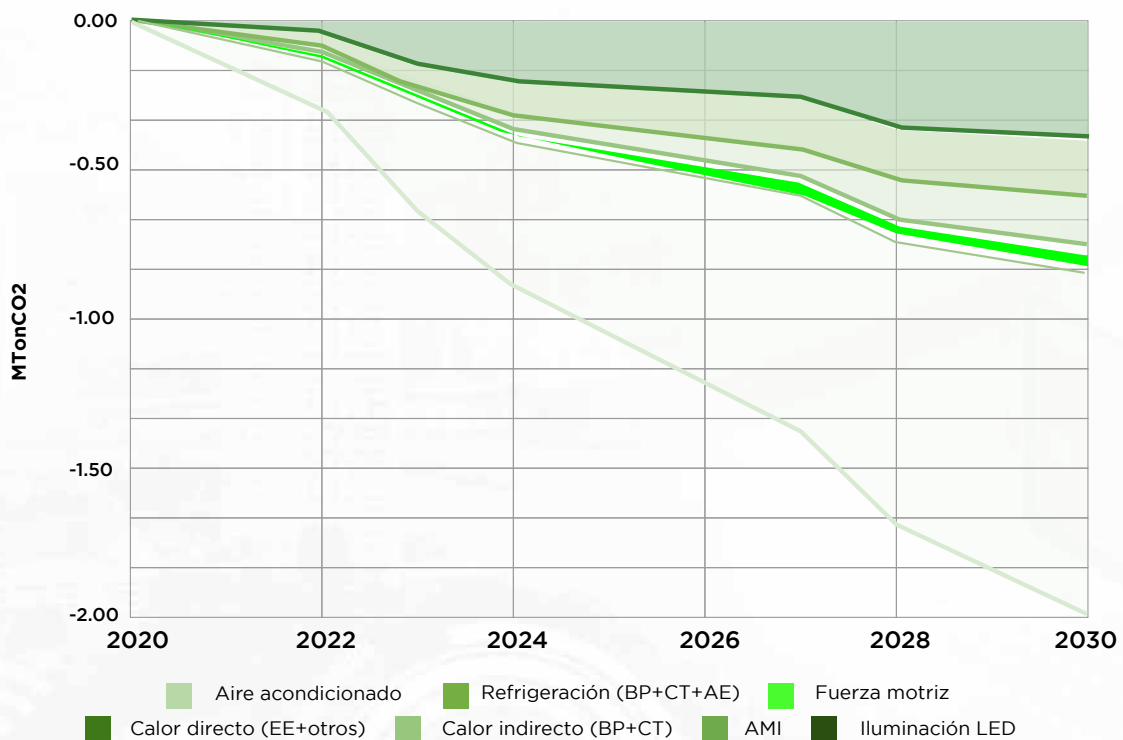
Tabla 15. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector terciario.

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
AMI Comercial	26.10	19.82%	1,203,681	19.25%	19.65%
Fuerza motriz	2.03	1.54%	93,605	1.50%	1.52%
Iluminación LED	48.80	37.05%	2,250,222	36.00%	36.44%
Calor indirecto	14.89	11.30%	826,977	13.23%	12.28%
Calor directo EE	0.31	0.24%	14,294	0.23%	0.24%
Calor directo GN	3.96	3.01%	219,934	3.52%	3.27%
Refrigeración	3.31	2.51%	152,700	2.44%	2.45%
Aire Acondicionado	32.31	24.53%	1,490,023	23.83%	24.16%
Total	131.71		6,251,439		



Gráfica 25. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética en el sector terciario en el PAI-PROURE

En cuanto a las emisiones evitadas, este ejercicio identifica un potencial de 6.2 MtonCO₂. Dado que en las medidas para este sector no se propuso cambio de combustible, la participación de éstas en las emisiones evitadas es proporcional al ahorro energético.



Gráfica 26. Reducción estimada de emisiones esperada de las medidas de eficiencia energética en el sector terciario en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Obtenidos los resultados de la simulación de las medidas en términos energéticos y ambientales, cada medida se analizó desde el punto de vista económico, con el fin de poder priorizar las medidas y derivar las recomendaciones de política pública asociadas.

Las medidas fueron rankeadas ponderando de igual forma su aporte al potencial de eficiencia energética y de reducción de emisiones. Los resultados del análisis costo-beneficio³⁴ para las medidas analizadas en el sector terciario son los siguientes:

Tabla 16. Análisis B/C para las medidas del sector terciario

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Iluminación LED	si	36.52%	0.31	3.15	2.33
2	Aire acondicionado comercial	no	24.18%	4.39	3.14	1.32
3	AMI comercial	si	19.54%	3.70	2.94	3.31
4	Calor indirecto	no	12.24%	0.52	0.45	1.42
5	Calor directo GN	no	3.26%	0.89	0.45	1.26
6	Refrigeración	no	2.48%	0.21	3.14	1.37
7	Fuerza motriz	no	1.52%	1.08	3.14	0.90
8	Calor directo EE	no	0.23%	2.45	3.14	1.06

Teniendo en cuenta estos resultados las recomendaciones para el sector terciario son las siguientes:



La instalación de luminarias LED resulta ser costo eficiente para el sistema y a nivel social y es la medida de mayor aporte para este sector. Sin embargo, el análisis beneficio costo identifica que a nivel privado pueden presentarse barreras para su implementación, por el costo de esta tecnología frente a los sustitutos cercanos. A diferencia del sector residencial, en el sector terciario el análisis beneficio costo resultó inferior a 1. En este sentido, se recomienda que la iluminación LED sea una de las medidas susceptibles de recibir incentivos tributarios.

Vale la pena señalar que aunque esta medida fue simulada para el sector terciario, se recomienda su adopción para los demás sectores productivos analizados en el PAI-PROURE, incluyendo el alumbrado público. Por lo anterior, se entenderá que la instalación de luminarias LED así se realice en actividades industriales, la producción de hidrocarburos, la generación termoeléctrica y las actividades mineras se considera como susceptible de recibir incentivos tributarios.

³⁴El detalle del análisis B/C de estas medidas se encuentra en el archivo BC Terciario anexo a este documento.



Al igual que en el sector residencial, **la medición inteligente AMI** se recomienda como medida susceptible de recibir beneficios tributarios, dado que su inclusión en la Ley 2099 de 2021 implica que de facto la Ley le otorga el mencionado privilegio. Sin embargo, es preciso destacar que para el caso de este sector, la medida resulta costo eficiente desde la perspectiva privada, puesto que los potenciales ahorros de energía derivados de la información que se obtiene de los medidores, compensa los costos del medidor para este tipo de clientes, dado el volumen de energía que actualmente consumen.



Teniendo en cuenta los resultados y aportes de las medidas de **refrigeración y calor indirecto** se recomienda que las inversiones asociadas a estas acciones reciban incentivos tributarios. Estas dos medidas resultan en un aporte superior al 14% y son costo-eficientes desde la perspectiva social, pero podrían tener limitaciones en la implementación dado que a nivel privado, los costos son superiores a los beneficios.



Por último, los análisis B/C de las **acciones de aire acondicionado, fuerza motriz y calor directo con energía eléctrica** indican que son beneficiosas desde la perspectiva privada y por ende, se deberían ejecutar sin mayores barreras. Sin embargo, los costos de transacción involucrados en la implementación de medidas para los actores pueden llegar a ser elevados y limitar su aplicación.

Dado que la gestión de los equipos de consumo energético es un ámbito técnico, los agentes del sector terciario dueños de los equipos no necesariamente se encuentran informados de las posibilidades tecnológicas y las mejores prácticas operacionales. En este sentido, la ejecución de medidas de eficiencia energética se encuentra supeditada a la contratación de firmas consultoras que analicen y propongan medidas de esta naturaleza para que los usuarios finales las implementen.

Por lo anterior, se considera pertinente otorgar incentivos tributarios a estas acciones (aire acondicionado, fuerza motriz y calor directo), así como a los servicios asociados a las auditorías, diseño e implementación de los sistemas de gestión de energía bajo la norma NTC ISO 50001, así como la submedición en los usos significativos de energía.

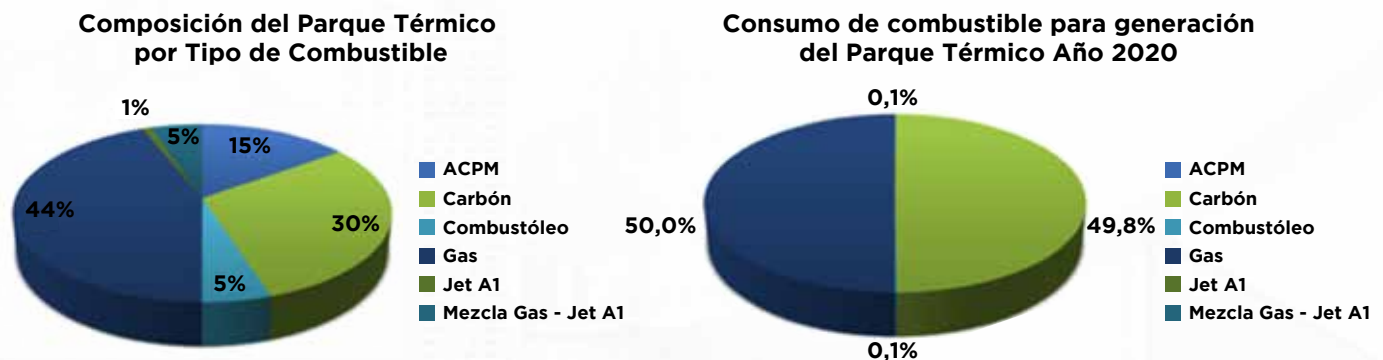
Nuevos sectores

Sector termoeléctrico

La capacidad instalada de generación termoeléctrica en el país es de 5,345 MW, es decir el 30.5% de las plantas despachadas centralmente. Dentro de este tipo de centrales se destacan dos grupos. El primero corresponde a las 6 plantas de ciclos combinados que suman 2,342 MW, con un promedio de 20 años de edad y 334 MW de capacidad. El segundo grupo, lo componen 31 plantas de ciclos abiertos, con un promedio de 26 años de edad y 90 MW de capacidad, que operan en ciclos Brayton, Rankine y motores de combustión interna.

En cuanto a la composición por tipo de combustible, el 30% de las plantas utilizan el carbón, el 44% gas natural (dependiendo de la disponibilidad) y el 26% restante combustibles líquidos (diesel, combustóleo y Jet A-1). En el año 2020, el consumo de combustibles para la generación del parque fue de 84,021 GBTU de carbón, 84,435 GBTU de gas natural y 380 GBTU de líquidos.

El parque térmico es el respaldo del sistema interconectado nacional SIN, en particular las plantas de gas natural y combustibles líquidos. Lo anterior significa que son llamadas a operar solamente bajo condiciones extraordinarias del sistema, dado que sus costos variables son mayores a los de los recursos hidráulicos. Normalmente, estas plantas son despachadas en situaciones de hidrología seca o para cubrir restricciones de red en lugares específicos del SIN.



Fuente: XM

Gráfica 27. Generalidades del parque termoeléctrico en Colombia

En 2019, las plantas térmicas despachadas centralmente generaron 13.32 TWh-año, lo que significó el 19% de la demanda total de ese mismo año. En 2020, que fue un año con bajos aportes hidráulicos, la generación fue de 17.28 TWh-año, lo que representó el 25% de la demanda total. La participación de la generación termoeléctrica en el año 2020 presentó una participación semejante a la de 2016 (26.8% sobre la demanda total), caracterizado por la presencia del fenómeno de El Niño durante el primer semestre.

El potencial de eficiencia energética para las centrales térmicas tiene tres grandes componentes, las buenas prácticas, la optimización de procesos y el recambio tecnológico.

Las medidas propuestas y simuladas en este ejercicio se basan en el estudio realizado por E2 Energía Eficiente en el año 2020. En este estudio se identificaron las medidas de mejora o cambio tecnológico más significativas de acuerdo con los datos operacionales y técnicos de las plantas evaluadas.

Desde el punto de vista tecnológico, no se analizó el cierre de ciclo de algunas centrales por lo que no fueron incluidas dentro de las medidas de esta versión del PAI-PROURE. En futuras versiones del PAI-PROURE se podrán incluir estas líneas de acción, respaldadas por ejercicios de modelamiento particulares que permitan cuantificar los posibles efectos de las mejoras de eficiencia en la participación de mercado.

Objetivos específicos de eficiencia energética para el sector termoeléctrico

- Promover la adopción de buenas prácticas en la operación y mantenimiento de las centrales térmicas en línea con la norma ISO 50001.
- Propender por la renovación tecnológica de bajo costo orientada a la optimización de procesos en las centrales térmicas.

Medidas de eficiencia energética analizadas

Las medidas simuladas para el sector térmico se agrupan en dos clases: buenas prácticas y cambio tecnológico orientado a la optimización de procesos. Las buenas prácticas operacionales se refiere a la adopción e implementación de sistemas de monitoreo operativo. El segundo grupo corresponde a la sustitución de equipos de limpieza, aislamientos térmicos, actualización de los precalentadores y retrofit de equipos, entre otros.

Para la obtención del potencial de eficiencia por buenas prácticas se realizó un análisis de línea base y línea meta aplicando la metodología de la familia de normas ISO 50001. Este análisis normaliza el consumo de combustibles para identificar los puntos eficientes de operación, a partir de la información de consumo y generación de energía de cada unidad despachada centralmente, reportada por los agentes a XM. Por su parte, los potenciales de ahorro del cambio tecnológico se estimaron con base al estudio de E2 (2020).

Tabla 17. Medidas de eficiencia energética analizadas para el sector termoeléctrico

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas	1. Sistemas de Gestión de la Energía	1.1. Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. 1.2. Servicios de certificación de la norma ISO 50001. 1.3. Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Cambio tecnológico	2. Optimización de procesos	2.1. Implementación de sistemas de limpieza continua. 2.2. Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos. 2.3. Adquisición de precalentadores eficientes. 2.4. Retrofit de los pulverizadores de carbón o de equipos centrífugos 2.5. Adquisición de equipos para la recuperación de calor residual o de purga.

Fuente: E2 Energía Eficiente 2020, UPME

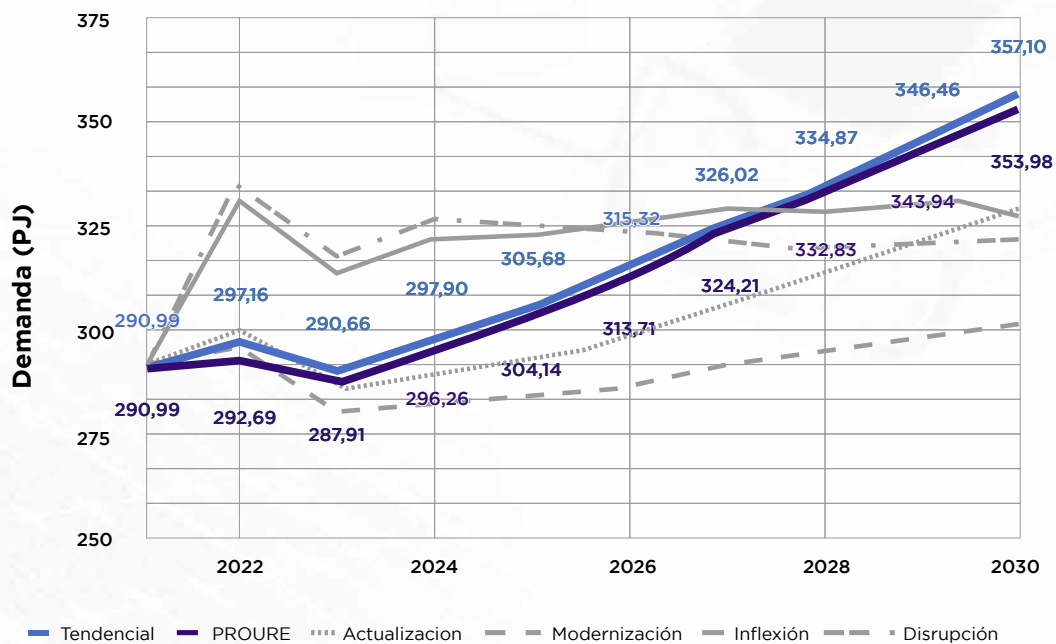
Resultados del ahorro y emisiones de las medidas analizadas

El potencial de eficiencia energética para el sector termoeléctrico estimado por la UPME en este ejercicio se calcula a partir del escenario de generación de largo plazo del Plan de Expansión 2020-2034 de la UPME, que también fue el punto de partida del Plan Energético Nacional 2020-2050.

En dicho escenario se parte de las plantas del sistema de generación colombiano existente a diciembre de 2019, se considera una expansión fija conformada por proyectos con compromisos adquiridos en las subastas del cargo por confiabilidad y de contratos de largo plazo así como, proyectos que tienen compromisos de conexión a la red de transmisión respaldados con garantías bancarias.

Para el mediano plazo, se adiciona la capacidad por tipo de tecnología, de acuerdo con la información con la que cuenta la UPME a partir de proyectos inscritos en el registro (fase 2 y 3) y otros que cuentan con estudio de conexión radicado o aprobado. Finalmente, para el largo plazo se incluyen los proyectos del portafolio disponible de acuerdo con el CAPEX de los mismos.

A partir de la composición del parque de generación obtenido en el ejercicio del Plan de Expansión, los escenarios del PEN 2020-2050 ajustan la generación que se requiere para atender la demanda esperada en cada caso. Para este ejercicio se hizo lo mismo, es decir, que para el escenario tendencial se determinó la generación termoeléctrica a partir de los resultados del Plan de Expansión en conjunto con la demanda que se esperaría si el consumo energético se comportara como históricamente lo ha hecho.



Gráfica 28. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector termoeléctrico.

La simulación de los potenciales de eficiencia energética en el periodo 2022-2030 de las medidas analizadas resultan en un ahorro potencial acumulado de 25 PJ. Lo anterior, corresponde a una reducción del 1% en promedio anual respecto al escenario tendencial y un ahorro acumulado de 0,98%.

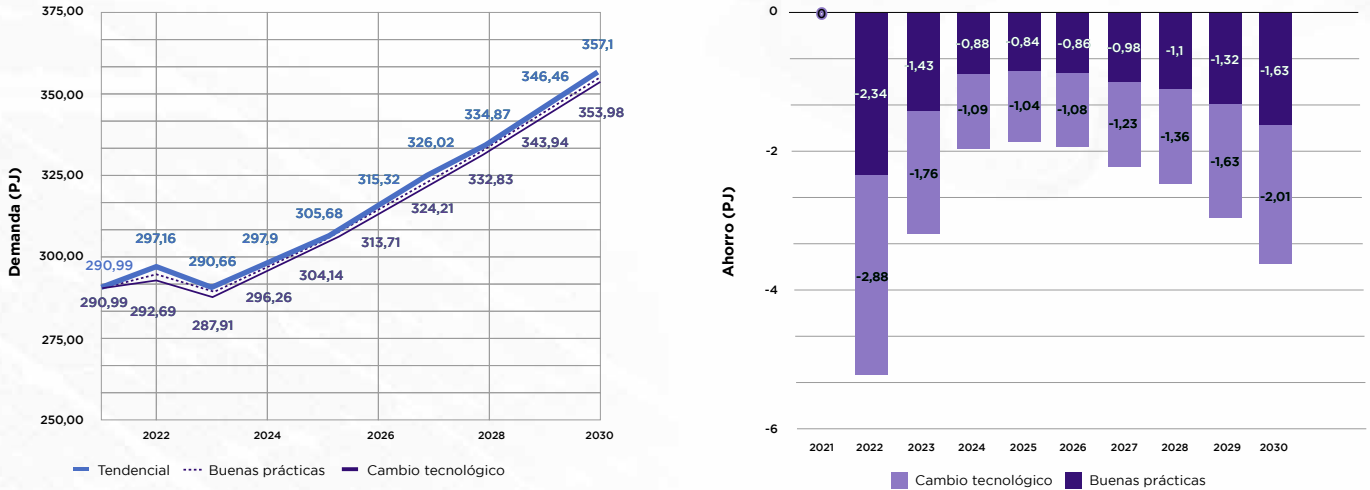
De las dos medidas analizadas, los ahorros asociados a las buenas prácticas operativas representan 11.38 PJ es decir 44.70% del ahorro potencial para este sector. Por su parte, el cambio tecnológico para la optimización de procesos tiene un potencial de 14.08 PJ en el periodo analizado, lo que supone un ahorro del 55.30% del total estimado.

De igual forma, es preciso mencionar que los ahorros estimados para las plantas a carbón son superiores a los de las plantas a gas natural, tanto para las buenas prácticas operacionales como para el cambio tecnológico.

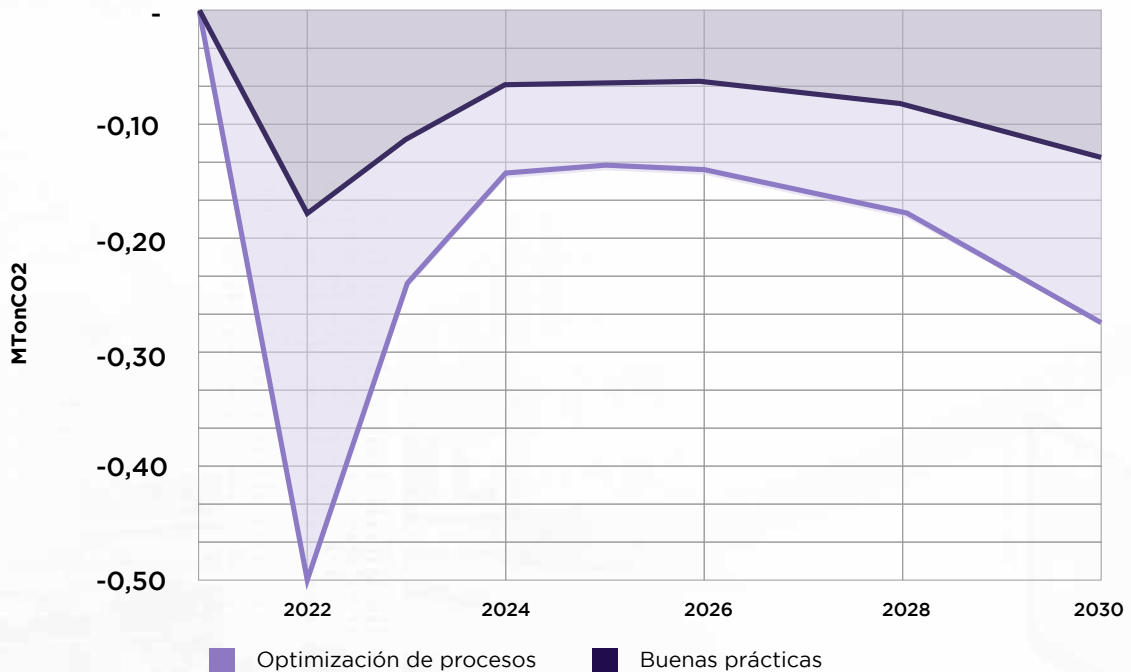
Tabla 18. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector termoeléctrico.

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
Buenas prácticas	11.38	44.70%	849,856	44,95%	
Centrales a carbón	6.68	26.23%	588,649	31.40%	28.68%
Centrales a gas natural	4.70	18.47%	216,206	13.55%	16.14%
Cambio tecnológico	14.08	55.30%	1,041,420	55,05%	
Centrales a carbón	7.96	31.25%	701,290	37.41%	34.16%
Centrales a gas natural	6.12	24.05%	340,130	17.64%	21.02%
Total	25.46		1,891,276		

En este sector, la estimación de emisiones evitadas es proporcional al consumo de energía evitado. Por lo que la participación de las dos medidas analizadas tienen el mismo aporte calculado en términos energéticos.



Gráfica 29. Simulación de los ahorros energéticos en el parque termoeléctrico por la adopción de medidas analizadas.



Gráfica 30. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector termoeléctrico en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Obtenidos los resultados energéticos y ambientales, cada medida se evaluó con un análisis beneficio-costos. Luego, las medidas fueron rankeadas ponderando de igual forma su

aporte al potencial de eficiencia energética y de reducción de emisiones. Los resultados de este ejercicio son los siguientes:

Tabla 19. Análisis B/C para las medidas del sector termoeléctrico

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Cambio tecnológico en centrales a carbón	si	34.16%	0.44	1.36	4,39
2	Buenas prácticas centrales a carbón	si	28.68%	1,46	1.24	4,39
3	Cambio tecnológico en centrales a gas natural	si	21.02%	0.43	1.18	1,58
4	Buenas prácticas centrales a gas natural	si	16.14%	2,53	1.47	1.56

Teniendo en cuenta todos los resultados presentados en esta sección, las recomendaciones para el sector termoeléctrico son las siguientes:



La adopción e implementación de **buenas prácticas operacionales**, en particular, aquellas asociadas con la gestión de energía bajo la norma 50001 resultan ser beneficiosas desde el punto de vista privado tanto para las plantas a carbón como para las que operan con gas natural.

Por lo anterior, esta medida no parece tener barreras económicas para su ejecución, por lo que la recomendación es no incluirlas dentro de las actividades susceptibles de recibir incentivos tributarios.

Teniendo en cuenta que la generación de energía térmica tiene un número limitado de participantes y que es una actividad sujeta de regulación, se recomienda la implementación progresiva del sistema de gestión de la energía bajo la norma ISO 50001 como requisito mínimo para la operación en el mercado colombiano y establecer un periodo de transición para que las centrales logren la certificación.

Lo anterior, permite que un tercero independiente ratifique que la utilización de energéticos se monitorea y se optimiza de acuerdo con la tecnología y condiciones de operación de cada planta y por ende señala al regulador y en general al sistema que se adoptan las medidas para que la planta opere en condiciones óptimas.



Con respecto a las medidas de **cambio tecnológico** para la optimización de procesos, el análisis costo beneficio indica que son deseables desde el punto de vista colectivo pero que tienen limitantes económicas desde la perspectiva privada. Por ello, se considera pertinente que las inversiones contempladas en esta medida puedan acceder a los incentivos tributarios de la gestión eficiente de energía.

Sector hidrocarburos

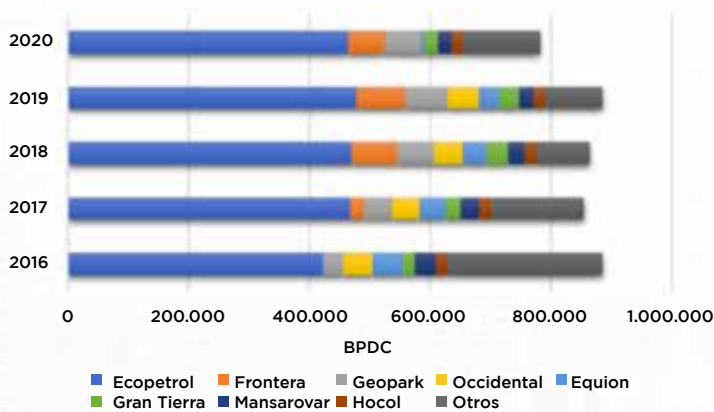
Entre 2013 y 2020 la producción nacional de crudo muestra una tendencia a la baja. Durante los años 2018 y 2019 se produjeron 865,191 BPDC³⁵ y 885,884 BPDC respectivamente, que comparado con los 944,119 BPDC producidos en 2012 corresponde a reducciones del orden del 8.35% y 6.57%.

Los productores más importantes de hidrocarburos son: Ecopetrol que representa el 54% de la producción total, con 466.556 BPDC, seguido por Frontera Energy Colombia con 8.9 % de la producción (78,056 BPDC) y Geopark Colombia con 7.5% (65,946 BPDC).

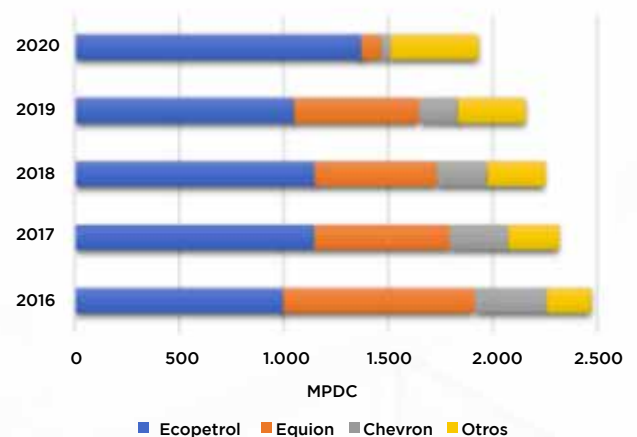
Al igual que el crudo, la tendencia de producción de gas natural muestra una tendencia a la baja. Durante los años 2018 y 2019 se produjeron 2.252 MPDC y 2.156 MPDC, respectivamente. En conjunto, la producción de crudo y gas alcanzó 1,260,373 BDC en el año 2018 y 1,266,069 BD en el año 2019.

En cuanto a los volúmenes de gas, Ecopetrol también es responsable de buena parte de la producción en el mercado. En los años 2018 y 2019, Ecopetrol participó en la producción de gas con cerca del 50%, seguido por Equion Energía Limited (27%) y Chevron Petroleum Company (10%).

Producción Nacional de Crudo



Producción Nacional de Gas



Gráfica 31. Generalidades de la producción de hidrocarburos en Colombia

De acuerdo con el Informe de Desempeño Ambiental publicado por la Asociación Colombiana del Petróleo - ACP, la participación del consumo de energía en los procesos de sísmica y perforaciones es muy pequeña en comparación con el resto de actividades. El consumo de energía para la etapa de producción alcanzó en 2019 una participación de 94.3%, y el transporte 5.6%.

La distribución de los diferentes energéticos en el consumo de energía destinado a la producción de crudo y gas nacional muestra un alto porcentaje de participación en el consumo de gas natural a lo largo de la cadena de producción (51%), seguido de crudo (27%), energía eléctrica (19%) y diésel (2%)³⁶.

³⁵ BPDC: Barriles de petróleo día calendario.

³⁶A partir de las cifras de producción de hidrocarburos, así como de información de volúmenes transportados y sus respectivos consumos, se establecieron los consumos específicos para cada etapa del proceso y producto.

Esta energía se emplea de manera global en procesos de bombeo/compresión, tratamiento, y almacenamiento de hidrocarburos, en los que intervienen procesos de generación de energía y calentamiento para las diferentes etapas.

Objetivos específicos de eficiencia energética para el sector hidrocarburos

- Promover la adopción, seguimiento y control de buenas prácticas en la operación y mantenimiento de las operadoras en línea con la norma ISO 50001.
- Propender por la optimización de procesos en el upstream y midstream del sector.

Medidas de eficiencia energética analizadas

Las medidas de eficiencia energética para el sector de hidrocarburos fueron tomadas del estudio *Unravelling the potential of energy efficiency in the Colombian oil industry*³⁷. En este documento se determina el potencial de eficiencia energética en la cadena de valor de la industria petrolera colombiana y su impacto en la reducción de emisiones, a partir de información de Ecopetrol y estudios relacionados.

En el estudio mencionado las medidas de eficiencia energética se basan en una evaluación de datos operativos a nivel de unidad de proceso de 20 medidas y tecnologías y aplicado en 48 casos a lo largo de la cadena, utilizando un enfoque bottom - up.

El ahorro total de energía simulado es resultado de medidas que podrían implementarse en el corto plazo, ya que corresponden a tecnologías o prácticas operativas disponibles comercialmente y que sus inversiones son relativamente bajas. Las medidas propuestas se consideran tanto para las etapas de producción como de transporte.

A continuación, se presentan las actividades y medidas estudiadas.

Tabla 20. Medidas de eficiencia energética analizadas para el sector hidrocarburos

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas	1. Mejores prácticas en la producción	1.1. Pruebas de combustión y calibración de sistemas de control de relación aire combustible. 1.2. Instalar bancos de condensadores. 1.3. Optimización de flujo de glicol en la planta de procesamiento de gas.

³⁷Edgar Yáñez, Andrea Ramírez, Ariel Uribe, Edgar Castillo, André Faaij. Elsevier Journal of Cleaner Production 176 (2018) 604-628

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas	1. Mejores prácticas en la producción	1.4 Implementar programas de detección y reparación de fugas.
	2. Mejores prácticas en el transporte	2.1. Realizar pruebas de combustión para identificar oportunidad de calibración.
	3. Sistemas de Gestión de la Energía	3.1. Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. 3.2. Servicios de certificación de la norma ISO 50001. 3.3. Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.
Cambio tecnológico	4. Actualización de procesos en la producción	4.1. Adquisición de bombas eléctricas. 4.2. Adquisición de equipos para la reducción de fugas o la recuperación de vapor.
	5. Actualización de procesos en el transporte	5.1. Adquisición de motores eléctricos de alta eficiencia para reemplazar motores a gas o motores sobredimensionados. 5.2. Implementación de sistemas de enfriamiento central en lugar de sistemas individuales.
Aprovechamiento de energía	6. Generación de energía	6.1. Adquisición de motores para generación de energía eléctrica para aprovechamiento del gas recuperado. 6.2. Implementación de ciclo rankine orgánico para recuperar calor residual en motores y turbinas.

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Aprovechamiento de energía	6. Generación de energía	<p>6.3. Implementación de ciclo STIG para recuperar la energía de los gases de las turbinas de gas.</p> <p>6.4. Adquisición de equipos para la producción de energía eléctrica por caída de presión de crudo.</p>
	7. Recuperación de gas	<p>7.1. Adquisición de equipos para la recuperación de gas de tea y de hidrocarburos condensables.</p> <p>7.2. Adquisición de equipos de sustitución del control de vapor.</p>

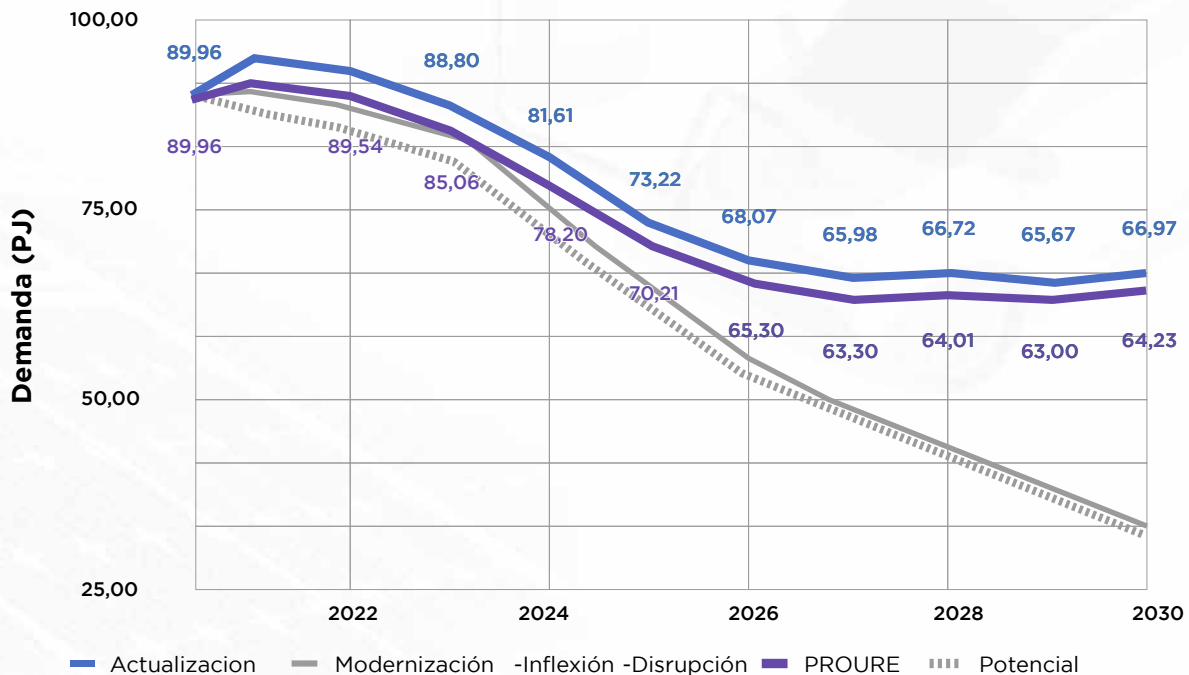
Fuente: Edgar Yáñez, Andrea Ramírez, Ariel Uribe, Edgar Castillo, André Faaij. 2018.

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Los escenarios de producción de hidrocarburos utilizados para la estimación de los potenciales de eficiencia energética fueron los utilizados en el Plan Energético Nacional 2020-2050, que a su vez se sustentan en la información del Plan de Abastecimiento de Gas Natural y el Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos de la UPME. A diferencia de los demás sectores, aquí no se utiliza un escenario tendencial, entendido como una progresión de las tasas de crecimiento históricas observadas.

La línea base utilizada para calcular el potencial de eficiencia energética de este sector parte del escenario medio de producción de petróleo y el escenario de producción media de gas natural. Vale mencionar que estos supuestos fueron los utilizados en el escenario de Actualización del PEN 2020-2050.

Por propósitos ilustrativos, también se realizó la simulación del potencial de ahorro energético con el escenario utilizado en los escenarios del PEN 2020-2050: Modernización, Inflexión y Disrupción que corresponde a niveles menos optimistas de producción de petróleo.



Gráfica 32. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector hidrocarburos

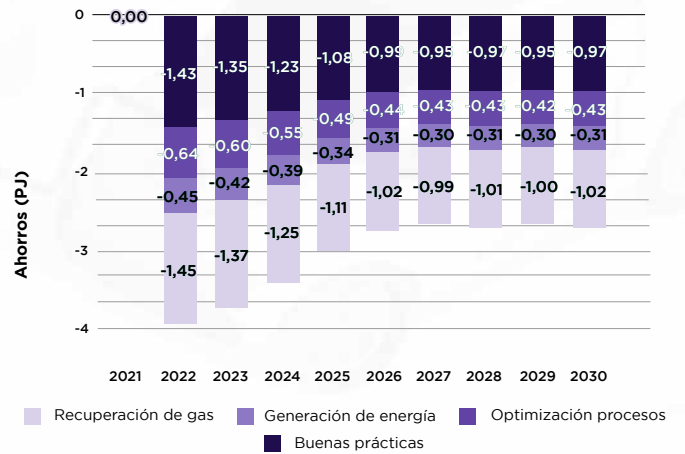
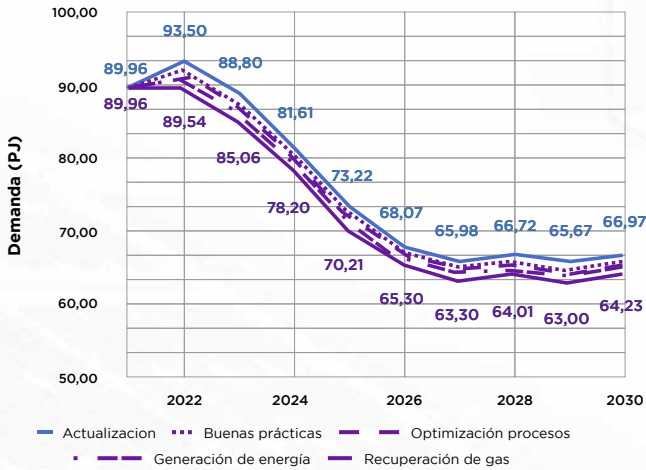
El ejercicio de simulación de eficiencia energética para el sector de hidrocarburos resultó en un potencial ahorro de 27.68 PJ en el periodo 2022-2030, lo que comparado con el escenario de producción resulta en una reducción del 3.71%.

Tabla 21. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector hidrocarburos.

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
Buenas prácticas	9.90	35.77%	593,703	35,65%	35.71%
Cambio tecnológico	4.44	16.06%	266,318	15,99%	16.02%
Generación de energía	3.12	11.28%	187,248	11,24%	11.26%
Recuperación de gas	10.21	36.91%	617,958	37,11%	37.01%
Total	27.68		1,665,227		

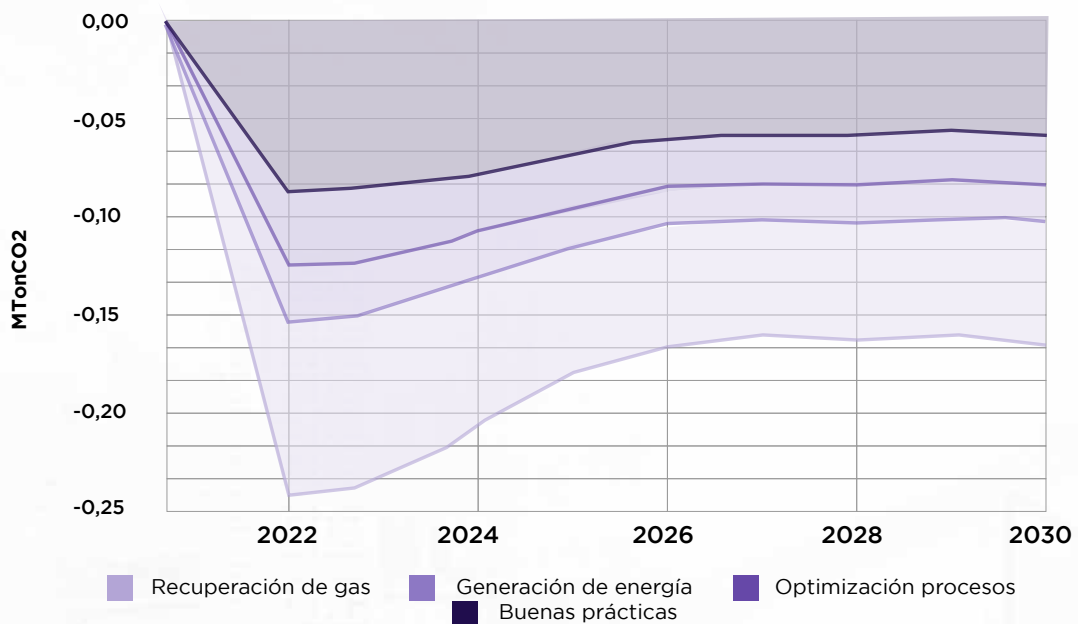
De los cuatro tipos de medidas simuladas para el sector hidrocarburos, las dos que resultaron con una mayor participación fueron la adopción de buenas prácticas y la recuperación de gas. Los ahorros promedio anuales de estas medidas son el orden de de 1.4% por buenas prácticas, 0.6% por cambio tecnológico, 0.4% por generación y 2.2% por recuperación de gas.

Vale la pena mencionar, que al igual que en el sector termoeléctrico, las medidas de cambio tecnológico que se proponen en este documento son la instalación de nuevos equipos auxiliares en el proceso como motores y bombas, por su menor costo de inversión. En versiones posteriores del PAI-PROURE se podría evaluar la conveniencia de medidas asociadas con la compra de equipos de mayor costo.



Gráfica 33. Simulación de los ahorros energéticos en el sector de hidrocarburos por la adopción de las medidas analizadas.

Con respecto a las emisiones, éstas resultan ser proporcionales a la energía que se ahorra por lo que las de mayor impacto son las medidas de buenas prácticas y recuperación de gas.



Gráfica 34. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector hidrocarburos en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Con los resultados energéticos y ambientales de las cuatro medidas propuestas para el sector de hidrocarburos se realizó un análisis de beneficio costo para proceder con las recomendaciones.

Tabla 22. Análisis B/C para las medidas del sector de hidrocarburos

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Recuperación de gas	no	37.01%	1.20	0.72	4.93
2	Optimización procesos - Buenas prácticas	si	35.71%	1.36	0.73	4.87
3	Cambio tecnológico	si	16.02%	0.62	0.73	4.87
4	Generación de energía	no	11.26%	0.08	0.73	4.88

Teniendo en cuenta todos los resultados presentados en esta sección, las recomendaciones para el sector de hidrocarburos son las siguientes:



Se recomienda que las medidas de eficiencia energética de cambio tecnológico y generación de energía reciban incentivos tributarios, en la medida que se identificó que son deseables desde el punto de vista social, pero que son acciones que privadamente enfrentan barreras para su implementación.



Para el caso de la **recuperación de gas** si bien tiene un beneficio costo privado mayor que 1, se considera pertinente los incentivos tributarios, en la medida que proyectos de esta naturaleza (a pesar de ser rentables) puede que resulten no ser tan atractivos con respecto a las potenciales inversiones que pueden hacer los productores de hidrocarburos.



Finalmente, **la adopción de buenas prácticas**, resulta ser beneficioso desde el punto de vista privado. Por lo anterior, al igual que en el sector termoeléctrico, se recomienda, la adopción de buenas prácticas operacionales en las actividades producción y transporte de hidrocarburos, en particular la implementación progresiva del sistema de gestión de la energía bajo la norma ISO 50001 se establezca como requisito mínimo para la operación en el mercado colombiano.

Esta medida al igual que para la generación termoeléctrica puede ser considerada como una victoria temprana, ya que en estas actividades hay pocos agentes participantes (lo que facilita la supervisión) y son negocios sujetos a regulación. La facultad para exigir esta certificación recae en los entes de regulación técnica, que para este caso es el Ministerio de Minas y Energía y de regulación económica, la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, en caso que se identifique la posibilidad de atar la remuneración de los transportadores de gas a la certificación propuesta.

Sector minero

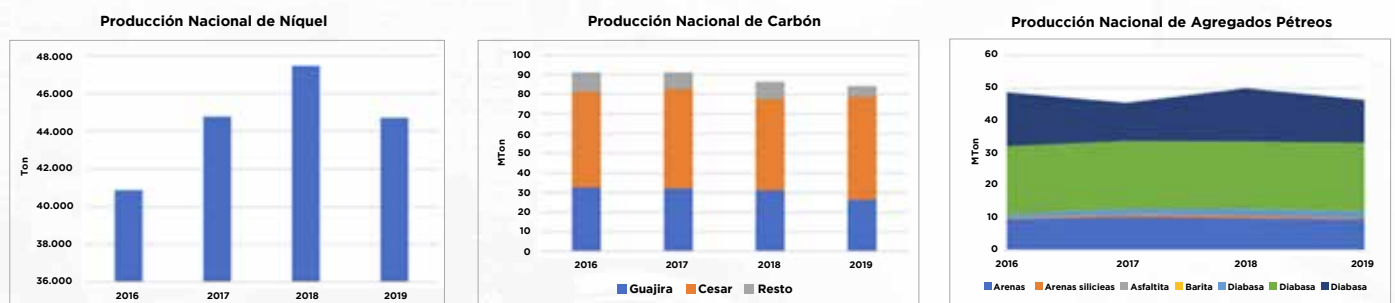
El sector minero está compuesto por diferentes subsectores, agrupados en las categorías metales, no metales y preciosos y otros. Por nivel de producción, dentro de los no metales destacan el carbón y los agregados pétreos, en minerales metálicos el níquel y mineral de hierro, y en metales preciosos plata y oro.

En este ejercicio se analizó la producción de minerales de los que contaban con información de caracterización energética, lo que permitió establecer las líneas base y meta de consumo de energía e identificar las oportunidades de implementación de medidas de eficiencia. Estos minerales son: níquel, carbón térmico y agregados pétreos.

En el periodo 2016 a 2018 el comportamiento de la producción nacional de níquel muestra una tendencia creciente, con niveles de producción que varían entre 40.800 y 47.500 toneladas. En el año 2019 se produjeron 44.722 toneladas, lo que representa una disminución de 5,8% respecto al año anterior. Si bien se cuentan con yacimientos de este recurso en los departamentos de Córdoba y Antioquia, las series de producción corresponden a las operaciones en el municipio de Córdoba.

Por su parte, el comportamiento de la producción nacional de carbón en el periodo 2016 - 2019 ha oscilado entre 84 y 91 millones de toneladas, siendo los años 2016 y 2017 los de mayor producción, con 91.18 Mt y 91.28 Mt respectivamente. El carbón que se produce en Colombia es principalmente térmico con una participación de 92.8%, seguido por el metalúrgico (7.1%) y antracita (0.1%). Buena parte de la producción de carbón se concentra en los departamentos de Cesar y La Guajira, con cerca del 90% de la producción nacional.

El segmento de agregados pétreos incluye las actividades de extracción de arenas, arenas silíceas, asphaltita, barita, diabasa, gravas y recebo. Los volúmenes de grava ocupan la mayor participación en la extracción de estos minerales, seguido por recebo y arenas. Entre 2016 y 2019 el comportamiento de la producción nacional de agregados pétreos ha oscilado entre 45 y 50 millones de toneladas, siendo los años 2016 y 2018 los de mayor producción, con 48.7 Mt y 49.5 Mt respectivamente.



Gráfica 35. Generalidades de la producción de minerales (caracterizados) en Colombia

Los minerales pasan por distintos procesos productivos que comprenden la extracción, beneficio y/o transformación. En general, la energía se emplea en tecnologías de calor directo y fuerza motriz para actividades de perforación, voladura, carguío y acarreo, clasificación, secado, entre otras.

El consumo de energía de la producción de níquel muestra un alto porcentaje de participación del gas natural (54%), seguido por energía eléctrica (42%) y diésel y gasolina (4%). Con respecto al consumo energético para la minería de carbón, se evidencia que el diésel es el energético de mayor consumo, seguido por la energía eléctrica. Se presenta una pequeña participación de consumo de gas natural, gasolina y GLP.

La información de consumo energético de agregados pétreos se basa en las encuestas realizadas a los agentes durante el desarrollo de la consultoría *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* desarrollado para la GIZ. Los resultados muestran que diésel es el energético de mayor consumo con una participación cercana al 70%, seguido por la energía eléctrica.

Objetivos específicos de eficiencia energética para el sector minero

- Promover la adopción, seguimiento y control de buenas prácticas en la operación y mantenimiento de las operadoras en línea con la norma ISO 50001.
- Propender por la optimización en el uso de energía de procesos en la actividad minera.

Medidas de eficiencia energética analizadas

Las medidas de eficiencia energética para el sector minero fueron analizadas según el tipo de mineral caracterizado. El potencial de eficiencia energética en la actividad minera y su impacto en la reducción de emisiones tiene como fuentes de información principales, el estudio *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* y el programa de programa Eficiencia Energética en Minería de Chile.

En el estudio de la GIZ mencionado, las medidas de eficiencia energética se basan en una evaluación de datos operativos de los agentes que participaron en el análisis y se formularon medidas de mitigación factibles y ejecutables en el periodo 2020-2050.

El programa *Eficiencia Energética en Minería de Chile* es un referente regional en la implementación de medidas de eficiencia energética en la actividad minera. Dentro del programa se revisan los principales consumos de energía por tipo de proceso y se presentan medidas de eficiencia energética factibles de implementar a partir de experiencias en actividades mineras en Chile y el mundo.

El ahorro total de energía simulado es resultado de medidas que podrían implementarse en el corto y mediano plazo, ya que corresponden a tecnologías o prácticas operativas disponibles comercialmente, hoy aplicadas en esta y otras actividades económicas.

A continuación, se presentan las actividades y medidas estudiadas.

Tabla 23. Medidas de eficiencia energética analizadas para el sector minero

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas prácticas	1. Mejores prácticas en carbón	1.1 Capacitación y pruebas para gestión y estandarización de procesos (perforación, tronadura, palas, sistemas de trituración, clasificación y despacho)
	2. Sistemas de Gestión de la Energía	2.1. Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. 2.2. Servicios de certificación de la norma ISO 50001. 2.3. Adquisición de medidores para la submedición en los equipos de uso final.
Cambio tecnológico	3. Actualización de procesos en níquel	3.1. Adquisición de equipos para la recuperación de calor o del gas residual. 3.2. Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia. 3.3. Adquisición de maquinaria amarilla eléctrica. 3.4. Adquisición de equipos de optimización de la combustión.
	4. Actualización de procesos en carbón	4.1. Adquisición de equipos para la recuperación de calor o del gas residual. 4.2. Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia. 4.3. Adquisición de maquinaria amarilla eléctrica. 4.4. Adquisición de correas de transporte móviles o regenerativas.

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Cambio tecnológico	5. Actualización de procesos en agregados pétreos	5.1. Adquisición de bombas eléctricas. 5.2. Adquisición de maquinaria amarilla eléctrica. 5.3. Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia. 5.4. Adquisición de correas de transporte móviles o regenerativas

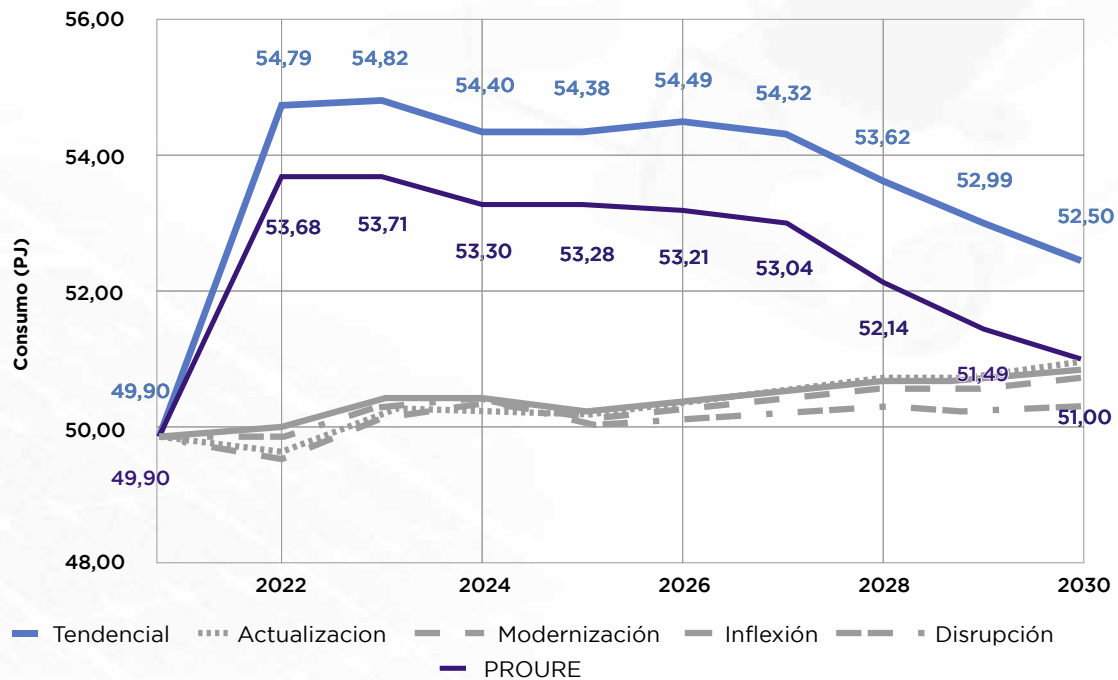
Fuente: GIZ - Como/Consult, 2021. Eficiencia Energética en Minería de Chile, 2021

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

La línea base utilizada para calcular el potencial de eficiencia energética de este sector parte del escenario “Continuidad de producción de níquel y carbón térmico” de la Subdirección de Minería de la UPME. Este escenario corresponde a un escenario tendencial, entendido como una progresión de las tasas de crecimiento históricas observadas.

En el caso de agregados pétreos, se adoptó el escenario de producción establecido por Como Consult (Año 2021) obtenido a partir de las tasas esperadas de crecimiento del subsector de la construcción, de edificaciones residenciales y no residenciales, al igual que la construcción de infraestructura. En dicho estudio se tuvo en cuenta las proyecciones de la tasa de crecimiento de vivienda y obras civiles al 2030, ponderadas de acuerdo con las participaciones históricas de cada subsector en la categoría de construcción de las cuentas nacionales.

La simulación del potencial de ahorro energético en el sector minero se presenta a continuación. En la siguiente gráfica se compara la estimación de ahorro para el sector minero con los escenarios propuestos en el PEN 2020-2050: Modernización, Inflexión y Disrupción, que corresponden a niveles menos optimistas en la producción de los minerales analizados.



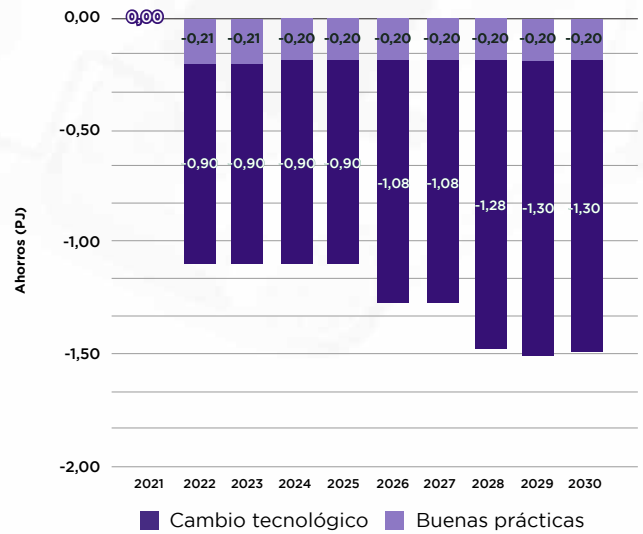
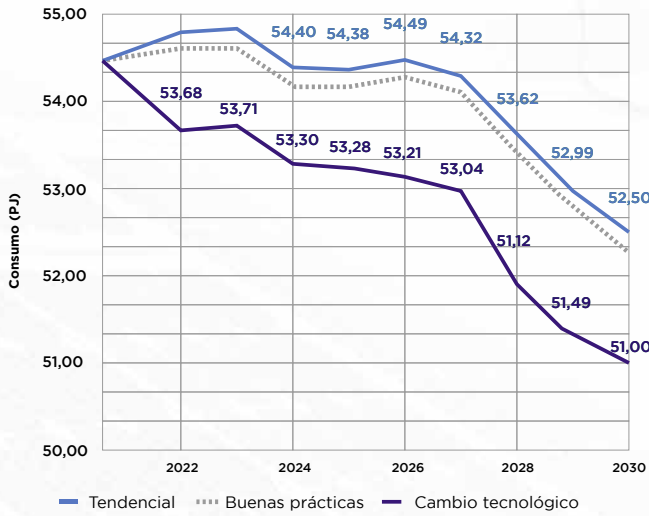
Gráfica 36. Comparación de escenarios de consumo energético para el sector minero

El ejercicio de simulación de eficiencia energética para el sector minero resultó en un potencial ahorro de 12.56 PJ en el periodo 2022-2030, lo que comparado con el escenario de referencia (tendencial) resulta en una reducción del 2.32% acumulado en el periodo.

Tabla 24. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector minero.

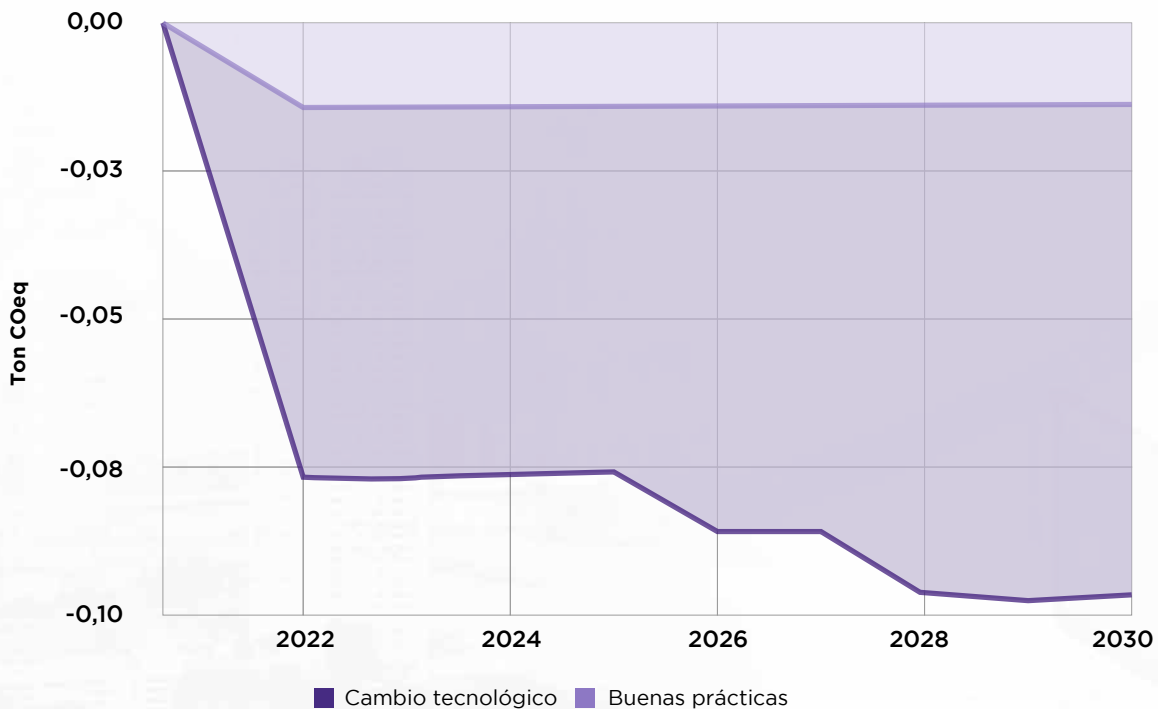
Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
Buenas prácticas	1.82	15.88%	125,327	16.25%	16,07%
Cambio tecnológico	9.64	84.12%	645,705	83.75%	83,93%
Total	12.56		847,625.08		

El mayor potencial de ahorro energético para el sector minero es el de cambio tecnológico, ya que corresponde al 84% de la reducción de consumo estimada, es decir 9.64 PJ. Por su parte, la simulación del potencial de ahorro por adopción de buenas prácticas arrojó un acumulado de 1.82 PJ en el periodo analizado.



Gráfica 37. Simulación de los ahorros energéticos en el sector minero por la adopción de las medidas analizadas.

La reducción de emisiones potenciales por la adopción de las medidas analizadas para el sector minero es proporcional a la reducción del consumo de energía. En consecuencia, el mayor impacto en las emisiones lo tiene el cambio tecnológico.



Gráfica 38. Reducción estimada de emisiones de las medidas de eficiencia energética en el sector minero en el PAI-PROURE

Priorización de medidas

Con los resultados energéticos y ambientales de las cuatro medidas propuestas para el sector minero se realizó un análisis de beneficio costo para proceder con las recomendaciones.

Tabla 25. Análisis B/C para las medidas del sector minero

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Cambio tecnológico	si ³⁸	83.93%	1.66	0.22	1.28
2	Buenas prácticas	si	16.07%	10.55	0.22	1.18

Teniendo en cuenta todos los resultados presentados en esta sección, las recomendaciones para el sector minero son las siguientes:



Al igual que para los sectores de generación termoeléctrica e hidrocarburos, la **adopción de buenas prácticas**, en particular la implementación progresiva del sistema de gestión de la energía bajo la norma ISO 50001 con miras a la certificación debe ser un requisito mínimo para la operación en el mercado colombiano, en particular, para la producción minera de gran escala.

Dado que esta actividad es regulada por el estado y son pocos los participantes en este renglón productivo, es una victoria temprana establecer esto como un requisito a las futuras producciones mineras y establecer un periodo de transición para que las actuales logren implementar el sistema con miras a una futura certificación.



Con la información recopilada para este ejercicio se identificaron potenciales barreras para la implementación de medidas de actualización de procesos como las propuestas en la Tabla 20, dados sus altos costos. Por lo anterior, la recomendación es otorgar incentivos tributarios a las actividades de **cambio tecnológico para el sector hidrocarburos**.



Vale la pena señalar que el ejercicio que se realizó en esta oportunidad, se sustenta en información recopilada para la minería de gran escala de otros países y se contó con muy poca información de caracterización energética para la producción de carbón, razón por la que pueden existir medidas de eficiencia energética asociadas a las operaciones locales que no se encuentren incluidas en la lista.

Por lo anterior, se recomienda realizar la **caracterización energética de las actividades mineras más representativas del sector**, incluyendo actividades fuera del alcance de este análisis, de manera que se puedan definir medidas de eficiencia energética acordes al mineral, tipo de minería y escala de producción, considerando sus usos significativos y oportunidades de eficiencia.

³⁸En la NDC se incluyeron medidas de eficiencia energética en la producción de minería de carbón a cielo abierto. En este documento se incorpora la producción minera de ferróníquel y de agregados pétreos.

Construcción sostenible

La construcción sostenible se centra en garantizar un mismo nivel de confort a los usuarios concibiendo que la forma, la orientación y los materiales utilizados en la construcción, reduzcan la carga térmica al interior de la edificación y optimicen el uso de energía, según el piso térmico y la tipología de los edificios.

Gracias a los análisis del proyecto de investigación de la UPME (2020c), se identificó que los edificios con mayor potencial para la aplicación de medidas de construcción sostenible son las viviendas y las edificaciones del sector terciario. Para el año 2019, la representatividad de las inversiones del sector de la construcción fueron 78.6% para viviendas, 8.1% para comercio, 2.8% educación, 2.7% bodegas, 1.8% oficinas, el 6% restante es representado por destinos como hospitales, administración pública, religioso, hoteles e industria.

Adicionalmente, el estudio sobre el comportamiento energético de 20 edificaciones ubicadas en el Área Metropolitana de Bucaramanga tanto de vivienda multifamiliar como de oficinas, el cual fué extrapolado a otras ciudades colombianas con diferentes pisos térmicos, reveló que el consumo por climatización representa aproximadamente entre el 26% y el 38% del total de consumo energético, en particular en oficinas y viviendas residenciales de estratos altos.

Por lo anterior, en este ejercicio se simuló el uso de medidas de construcción sostenible en el uso de energía requerida para ventilación, aire acondicionado e iluminación principalmente y la implementación de una etiqueta energética para edificaciones. Se supone que dichas medidas se adoptarán a partir de 2025 en todas las edificaciones nuevas y en un porcentaje de las existentes en clima cálido y templado.

Objetivos específicos

- Promover la implementación de medidas pasivas en la construcción de edificaciones.
- Propender por la adopción de códigos y etiquetas de construcción sostenibles en el país.

Medidas de eficiencia energética

Las medidas propuestas a continuación están relacionadas con las nuevas tendencias en materia de eficiencia energética en edificaciones, que tienen foco en la envolvente y su impacto en la carga térmica, en sinergia con los equipos de uso final de la edificación. Lo anterior, involucra conceptos de diseño bioclimático, método constructivo y materiales eficientes desde el punto de vista energético, así como la automatización y control de los equipos.

Dada la naturaleza de este tipo de medidas, se modelan de manera transversal a los sectores residencial y terciario, dado que se quiere focalizar que esta medida no solamente impacta a los usuarios finales, sino al sector de la construcción.

Estas medidas suponen que con la implementación de normas relacionadas con el etiquetado de edificaciones y la construcción sostenible, se realizan acciones de mejora en la fase constructiva, lo cual conlleva a reducciones de consumo de energía durante la vida útil de las edificaciones.

Se propone que a partir del 2025 todas las nuevas construcciones residenciales y comerciales apliquen las medidas pasivas y activas asociadas a la construcción sostenible, que se señalan a continuación.

Para el sector residencial se consideró como línea base, que el 5.4% de los usuarios tienen aire acondicionado y 39.5% ventilador (BEU, UPME). A continuación, se estimó la participación de cada uno de estos usos a partir del 2025, una vez se implementan las medidas de construcción sostenible, en los hogares nuevos en climas cálido y templado³⁹. En la modelación se parte del supuesto que un hogar con construcción sostenible puede ahorrar entre un 60 y un 80% (dependiendo del piso térmico y estrato) de su consumo asociado a acondicionamiento de espacios (climatización), con la aplicación de todas las medidas de eficiencia energética asociadas al confort (Estudio UPME, UIS, 2021).

La medida para el sector terciario fue modelada considerando que a partir del 2025 todos los usuarios nuevos comerciales y públicos, aplican las medidas pasivas y activas asociadas a la construcción sostenible y que los usuarios existentes, aplicarán las medidas en todas las edificaciones de más de 20 años. En este ejercicio se tuvo en cuenta, el tamaño del usuario, si eran nuevas o existentes y la clasificación por climas para determinar el potencial de ahorro correspondiente.

Tabla 26. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el sector construcción sostenible

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Buenas Prácticas	1. Medidas pasivas	1.1. Servicios de diseño bioclimático para el aprovechamiento de sol y viento 1.2. Adquisición de materiales y elementos para el aislamiento de cubierta y muros exteriores que permita regular la temperatura al interior del edificio. 1.3. Adquisición de equipos y estructuras de control solar en vidrios.
Cambio Tecnológico	2. Medidas activas	1.4. Adquisición de equipos para ventilación natural. 2.1. Adquisición de equipos de control de iluminación en zonas comunes. 2.2. Adquisición de sistemas de medición y control de aire acondicionado. 2.3. Adquisición de ascensores, escaleras eléctricas y sistemas de bombeo.

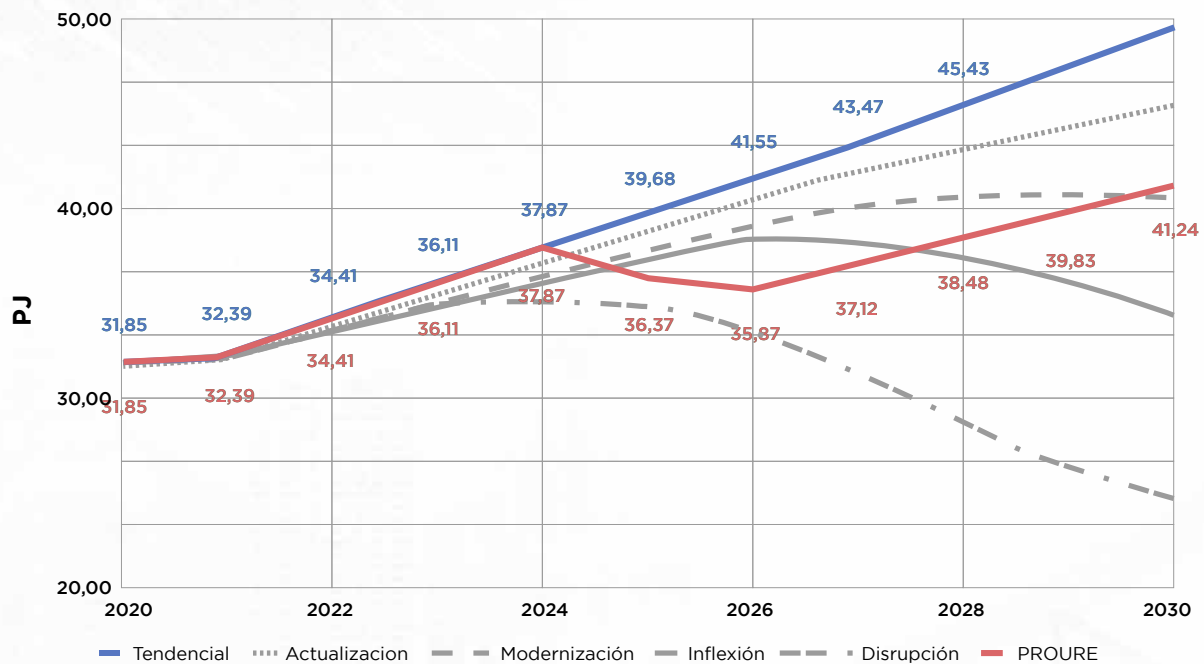
*Relacionado con el tipo de vidrio, su espesor y sus propiedades térmicas y visibles, usado en las edificaciones para control de carga térmica. Fuente: (MINCIENCIAS UIS UPME, 2021).

³⁹El 58% de los hogares se ubica en clima cálido o templado.

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Las medidas simuladas para las edificaciones arrojan un potencial ahorro de 38 PJ en el periodo 2025-2030, lo que se traduce en una reducción del 9.34% sobre el consumo de aire acondicionado y ventilación de los sectores terciario y residencial del escenario tendencial. Esta medida tiene una participación del 0.24% del ahorro sobre el consumo total del escenario tendencial.

En comparación con los escenarios del PEN 2020-2050, es preciso mencionar que las medidas de construcción sostenible no fueron contempladas en dicho ejercicio, razón por la que no es posible comparar los resultados de los consumos de energía asociado al aire acondicionado y ventilación de los sectores residencial y comercial. En el PEN las medidas de eficiencia energética asociadas a este uso final fueron las de recambio tecnológico, es decir, la de adopción de la mejor tecnología disponible. Solo por propósitos ilustrativos se presenta la gráfica con la simulación de los consumos estimados para este uso final.

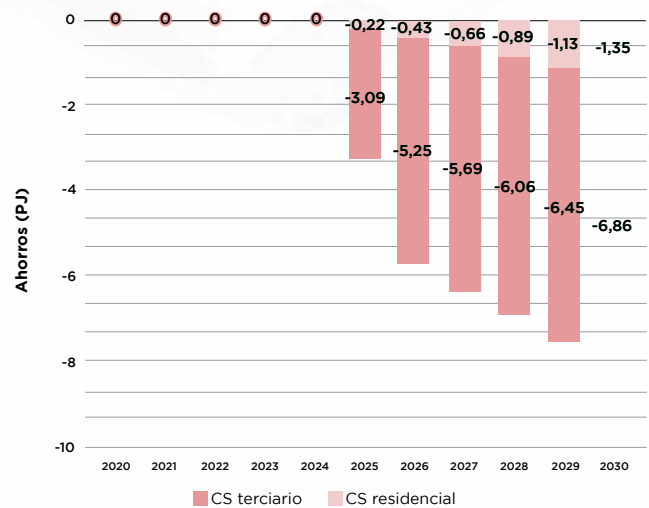
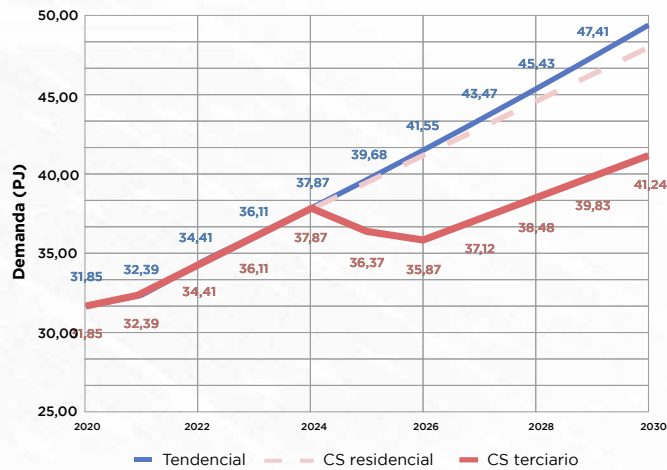


Gráfica 39. Comparación de escenarios de consumo energético para el consumo de aire acondicionado y ventilación en el sector residencial y comercial.

Tabla 27. Resumen de resultados de las medidas de eficiencia energética propuestas para la construcción sostenible

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO ₂	%	Aporte global %
Construcción sostenible sector residencial	4.68	12.29%	215,800	12.29%	12.29%
Construcción sostenible sector terciario	33.40	87.71%	1,540,111	87.71%	87.71%
Total	38.08		1,755,911		

Los resultados encontrados con la simulación energética y ambiental indican que si bien en el sector terciario hay menos dinamismo en la construcción, los potenciales ahorros son mayores que en el sector residencial. En el ejercicio realizado, se encuentra que de los 38 PJ de ahorro acumulado entre 2022-2030, el 87% corresponde a lo que se lograría en el sector terciario.



Gráfica 40. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética de construcción sostenible.

Dado que el gasto energético en ambos sectores corresponde a energía eléctrica, las participaciones en las emisiones evitadas son proporcionales a la cantidad de energía ahorrada y por ende al aporte global de la medida.

Tabla 28. Análisis B/C para las medidas de construcción sostenible

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Construcción sostenible sector terciario	si	87.71%	0.63	0.44	1.25
2	Construcción sostenible sector residencial	si	12.29%	1.16	0.44	3.45

Las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis de construcción sostenible son las siguientes:



Es preciso mencionar que si bien el incremento en costos que supone (por ahora) la implementación de estas prácticas es una de las barreras identificadas, hay otros limitantes asociadas con el poco conocimiento y capacidad especializada en la materia, el nivel bajo de inversión en investigación, desarrollo e innovación, la baja oferta y disponibilidad de materiales por parte de los fabricantes y la ausencia de control y verificación de la normatividad existente, entre otras; las cuales representan un reto para generar los suficientes incentivos para el cumplimiento de los estándares de la construcción sostenible.



Por lo anterior, **una estrategia para subsanar estos obstáculos es el desarrollo e implementación de un Sistema de Etiquetado Energético de Edificaciones, SEEE**, en Colombia. Esto implica la puesta en marcha de requerimientos técnicos, metodológicos y normativos, tanto para la construcción como para la evaluación y certificación de edificaciones. Este mecanismo además de brindar información a los usuarios sobre el desempeño energético del edificio, podría facilitar el monitoreo de las autoridades competentes e identificar aquellos edificios que requieren adecuaciones por su bajo desempeño energético.

La implementación de un esquema de SEEE es un camino que incluye varios pasos. En primera instancia, la valoración de las características de edificaciones según región climatológica, estrato socioeconómico y tipología y la definición de los requisitos para una escala de clasificación energética en la etiqueta. Adicionalmente, contempla el desarrollo de un reglamento técnico para el etiquetado energético de edificaciones y el procedimiento para otorgar una certificación de la edificación.



Teniendo en cuenta los resultados del análisis, la recomendación es otorgar incentivos tributarios a las actividades de la construcción sostenible para el sector terciario, que fueron las que se identificaron como las de mayor costo, entre ellas: valor U y SHGC en acristalamientos, aislamiento en cubierta y muros exteriores, sombreado horizontal de ventanas y control de iluminación.

Para el sector residencial, además de tener un aporte menor en eficiencia energética, se estima que la adopción de este tipo de prácticas no supone un costo sustancial desde la perspectiva privada, por lo que no pareciera tener una barrera económica en su implementación. Sin embargo, considerando que es un tema que aún requiere de la consolidación del mercado de bienes y servicios asociados, la recomendación es otorgar los incentivos tributarios a las mismas medidas que al sector terciario.



Por último, se recomienda otorgar incentivos tributarios a quienes realicen auditorías energéticas a las edificaciones existentes, lo anterior como un primer paso hacia la implementación de medidas de renovación.

Almacenamiento de energía eléctrica

Como se señaló en la sección de nuevos desarrollos tecnológicos, los sistemas de almacenamiento son activos que pueden proveer al sistema eléctrico una serie de servicios que permitirían aumentar la seguridad, flexibilizar la operación, facilitar la integración de renovables e incluso dar respuesta a problemas de la red. En este contexto, en Colombia se avanza para poder incorporar estos activos al sistema eléctrico y energético del país.

Lo primero que hay que señalar es que la Ley 1715 de 2014 otorga incentivos tributarios a quienes inviertan en proyectos de fuentes no convencionales de energía FNCE. La UPME en la reglamentación correspondiente, incluyó a las baterías que tengan un uso asociado al almacenamiento del exceso de generación proveniente de energía eólica, solar o PCH, como activos susceptibles de recibir estos beneficios tributarios.

Para el caso de baterías cuyo propósito sea mitigar los efectos de la congestión de las redes, la expedición de la Resolución CREG 098 de 2019 habilita la instalación de sistemas de almacenamiento con este fin. En cumplimiento de lo previsto en esta resolución, la UPME adjudicó, el pasado mes de junio, la primera subasta de almacenamiento de energía a gran escala en Latinoamérica, la cual será instalada en el departamento de Atlántico para apoyar la red de transmisión regional.

El proyecto consiste en el diseño, adquisición de suministros, construcción, instalación, pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía con baterías - SAEB con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema de Transmisión Regional, STR.

La adjudicación de este proyecto se llevó a cabo a través de la convocatoria pública UPME 01-2020, en la cual participaron: Engie Colombia Energía S.A.S. E.S.P., Proelectrica S.A.S. E.S.P., Celsia Colombia S.A. E.S.P., Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P., Sociedad Stem Terpel S.A.S., Canadian Solar Energy Colombia S.A.S., Grupo Energía Bogotá S.A. E.S.P., Abo Wind Renovables Proyecto Diez S.A.S. E.S.P., Air-e S.A.S E.S.P.

Finalmente, la firma Canadian Solar Energy Colombia S.A.S. obtuvo la adjudicación del proyecto al haber presentado la propuesta económica con el menor valor presente de los ingresos anuales esperados, correspondiente a \$72,066,090,772.74 pesos constantes de diciembre 31 de 2020 (UPME, 2021). Adicionalmente a esta iniciativa de convocatoria para baterías, también se han desarrollado proyectos privados por parte de generadores. Este es el caso de Enel-Emgesa quienes instalaron un sistema de baterías de iones de litio en la central de Termozipa. Gracias a este proyecto, la central puede almacenar 7 MW de potencia y 3.9 MWh de energía, lo que les permite cumplir con los requisitos de reserva primaria de frecuencia (Valora Analitik, 2021).

Dado que una parte de las desviaciones positivas⁴⁰ en el despacho eléctrico son cubiertas por plantas térmicas, en esta sección del documento se analiza el potencial de reducción de generación térmica que se podría evitar con la instalación de baterías. Vale la pena aclarar que el análisis llevado a cabo es ilustrativo, por lo que de ninguna manera implica que se realizarán convocatorias como resultado de este ejercicio. La planeación de la expansión de la red de transmisión se realiza a través de otro mecanismo y considera otras variables, por lo que una potencial convocatoria de sistemas de almacenamiento tendría que ser resultado de lo previsto por la UPME para tal fin.

Objetivos específicos

- Analizar los beneficios asociados con la instalación de sistemas de almacenamiento
- Promover la inversión en activos que le den flexibilidad al sistema eléctrico sin emisiones asociadas.

⁴⁰Corresponden a la diferencia entre el despacho ideal, en el que no se consideran las características de la red y el despacho real.

Medidas de eficiencia energética

El modelamiento del potencial de eficiencia energética de esta medida parte de la información de la generación por restricciones resultado de despachos fuera de mérito para el año base (0.65 PJ) con centrales termoeléctricas y su respectivo impacto en emisiones.

Para el cálculo de la línea base se tiene en cuenta el reporte de XM respecto a la generación de seguridad fuera de mérito por las desviaciones positivas, por estabilidad del STN y asociada con restricciones eléctricas y/o soporte de voltaje del STN, que representaron el 96% del total de las restricciones reportadas en el año base. Frente a esto, se simuló la instalación de una batería para sustituir generación térmica que se utilizó para atender la generación de seguridad, con una capacidad de 45 MW de almacenamiento, y una eficiencia estimada del 70%. Adicionalmente, se asume que dicha instalación se realiza en el año 2023, año en el que se prevé que Colombia alcance al valor del Capex global para sistemas de almacenamiento, de acuerdo a lo propuesto por el BID⁴¹.

La instalación de la batería permitiría cubrir el 23% de la generación de seguridad frente a los datos año base, asumiendo además que la carga para el almacenamiento se realiza con energía de la red en horas valle, con lo que se da un ahorro en emisiones y ahorros en costo de generación.

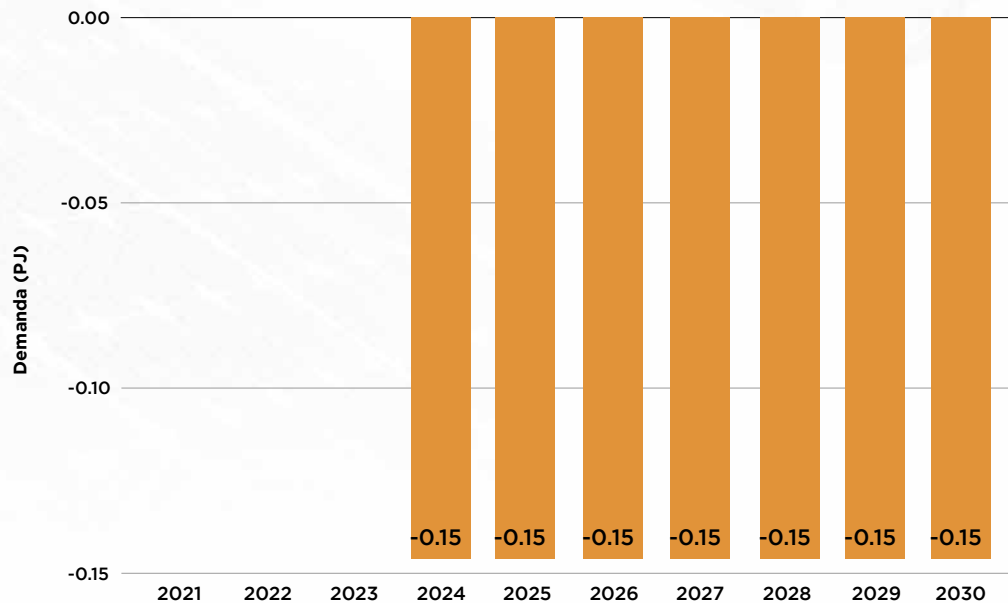
Tabla 29. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para el almacenamiento de energía eléctrica

Tipo de medida	¿Incluida en la NDC?	Medidas	Acciones
Sustitución de combustible	no	1. Almacenamiento de energía eléctrica	1.1. Adquisición de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica para reducir la necesidad de generación térmica fuera de mérito.

⁴¹Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina, BID, 2019

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

De acuerdo a esto, se estimó el potencial de ahorro en energía por restricciones de 1.02 PJ, entre el 2023 y 2030, con un respectivo ahorro en emisiones de 2,779 TonCO₂, como respuesta a una menor generación con carbón (0.22PJ) y con gas natural (0.8 PJ) lo que representa un ahorro de 14.6 billones de pesos anuales por concepto de restricciones.



Gráfica 41. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética por Almacenamiento de energía eléctrica

Tabla 30. Resumen de resultados de la medida de almacenamiento de energía eléctrica

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO ₂	%	Aporte global %
Almacenamiento de energía eléctrica para reducción de generación térmica fuera de mérito	1.02	100%	2,779	100%	100%
Total	1.02		2,779		

Tabla 31. Análisis B/C para la medida de almacenamiento de energía eléctrica

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Almacenamiento de energía eléctrica para reducción de generación térmica fuera de mérito	si	100%	NA	4.01	1.75

De acuerdo a la formulación del análisis se supone que los beneficios y costos para el sistema de la instalación del sistema de almacenamiento se ven reflejados en la tarifa del usuario final.

Ya que la tecnología es incipiente, el costo de instalación de los sistemas de almacenamiento sigue siendo alto y se espera que solo hasta el 2023 Colombia llegue a igualar los costos a nivel mundial, a pesar de esto los beneficios por restricciones gracias a la instalación del sistema indican una relación beneficio costo mayor a uno para el total de la medida.

En cuanto al factor ambiental es posible encontrar reducciones aun cuando se realice la carga de la batería con energía proveniente del SIN, no se supone almacenamiento estrictamente de fuentes no convencionales.

Los resultados del análisis de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en su función de sustitución de generación térmica para alivio de restricciones del sistema indican que es una medida costo-eficiente para el sistema interconectado y la sociedad. Se considera que por ser tecnologías nuevas en el país podrían obtener incentivos tributarios, siempre que se instalen para la función descrita en esta sección.

Distritos térmicos

Un distrito térmico es una solución centralizada a las necesidades de climatización en las ciudades. En términos generales, un distrito térmico consiste en una central que suministra el servicio de calor o frío, a un conjunto de edificaciones que se encuentran localizadas cerca unas de las otras. Esta es una solución que puede representar un ahorro en el consumo de energía en la medida que en lugar de que cada usuario compre un equipo para acondicionar la temperatura interior del hogar, se tiene una solución a gran escala mediante la que se provee frío o calor a través de tuberías.

Colombia es país pionero en la región con relación a la promoción de los distritos térmicos, no sólo porque brindan una solución de climatización sostenible en edificaciones residenciales, comerciales e industriales sino también porque permite la sustitución de sistemas que funcionan con sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO).

Los distritos térmicos son una solución deseable de eficiencia energética en Colombia puesto que uno de los mayores servicios energéticos que se espera crezca en el corto y mediano plazo en nuestro país (350%) es el aire acondicionado⁴².

Los distritos térmicos fueron contemplados como medida de gestión eficiente de la energía en la versión pasada del PAI-PROURE como susceptible de recibir incentivos tributarios. En el marco del rol de la UPME como evaluador de los proyectos que optan por estos incentivos, se han recibido 9 solicitudes con inversiones del orden de 9,914 MCOP, ahorros de energía de 10.57 TJ/año y reducciones de CO₂ estimadas de 1,077 TonCO₂. Estos proyectos se han desarrollado en diferentes ciudades del país: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla, en distintos tipos de negocio: hoteles, hospitales, centros de espectáculos, entre otros.

⁴²Ver https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2021/09/Brochure-SECO_DT2-_zip.pdf

Objetivos específicos

- Promover las medidas centralizadas de acondicionamiento de espacios a través de los distritos térmicos

Medidas de eficiencia energética

Los potenciales de eficiencia energética del PAI-PROURE se estimaron partiendo de los escenarios de penetración analizados en el proyecto “Distritos térmicos” liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible⁴³.

En este ejercicio se estableció un escenario que considera la entrada en operación de tres (3) distritos térmicos en el sector residencial y seis (6) distritos térmicos en el sector terciario, entre los años 2024 y 2030. La capacidad instalada tomada como supuesto para los distritos térmicos residenciales corresponde a 1,500 TR (toneladas de refrigeración) y para cada distrito en el sector terciario de 3,600 TR. En el sector industrial también existe posibilidad de implementación de esta tecnología, pero en el periodo de evaluación no fue modelado.

El impacto de medida de distritos térmicos parte de la energía consumida en el escenario tendencial por la utilización de los aires acondicionados, con una eficiencia de 14.78% en el sector residencial y de 27.07% en el sector terciario, de acuerdo con expuesto en el estudio de Balance de Energía Útil BEU (UPME 2018).

A partir de la experiencia obtenida con los proyectos de distritos térmicos ya implementados en Colombia, se encuentra que es posible alcanzar eficiencias del orden de 4.1 COP (Coeficiente de rendimiento térmico - coefficient of performance), partiendo de sistemas convencionales de refrigeración con eficiencias entre 2.7 y 3 COP, para el sector residencial y terciario, respectivamente.

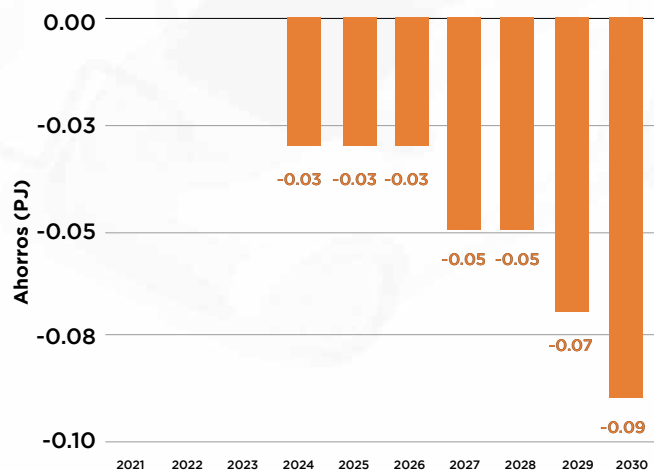
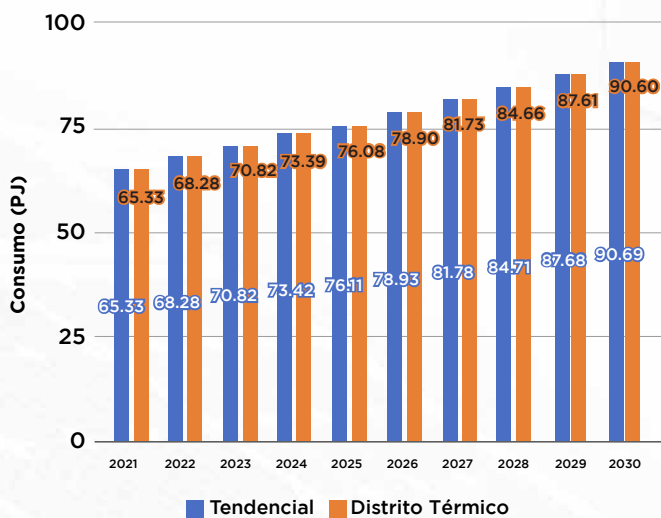
Tabla 32. Medidas y acciones de eficiencia energética analizadas para los distritos térmicos

Tipo de medida	Medidas	Acciones
Recambio tecnológico	Climatización	1. Desarrollo de distritos térmicos

Resultados de ahorro energético y emisiones evitadas potenciales

Las medidas simuladas para los distritos térmicos arrojan un potencial ahorro de 0.35 PJ en el periodo 2024-2030, lo que se traduce en una reducción del 0.05% sobre el consumo de aire acondicionado para el período de análisis.

⁴³Distritos térmicos Colombia. En línea: <https://www.distritoenergetico.com>



Gráfica 42. Reducción de demanda esperada de las medidas de eficiencia energética por distritos térmicos

Tabla 33. Resumen de resultados de la medida de distritos térmicos

Medida	Reducción de demanda (2022-2030) PJ	%	Emisiones evitadas acumuladas (2022-2030) Ton CO2	%	Aporte global %
Distritos térmicos	0.35	100%	7,747	100%	100%
Total	0.35		7,747		

Dado que el gasto energético en ambos sectores corresponde a energía eléctrica, las participaciones en las emisiones evitadas son proporcionales a la cantidad de energía ahorrada y por ende al aporte global de la medida.

Tabla 34. Análisis B/C para las medidas de distritos térmicos

	Medida rankeada según aporte global	¿Incluida en la NDC?	Aporte global %	B/C privado	B/C sistémico	B/C social
1	Desarrollo de distritos térmicos	si	100%	0.70	0.74	1.05

La conclusión y recomendación derivada del análisis de distritos térmicos es que el desarrollo de este tipo de proyectos son deseables desde el punto de vista colectivo, en consecuencia se recomienda que sigan siendo susceptibles de acceder a los beneficios tributarios para gestión eficiente de energía.

Recomendaciones para la promoción de la eficiencia energética

Incentivos tributarios

De acuerdo con los análisis realizados en el PAI-PROURE, las medidas consideradas como acciones o medidas de gestión eficiente de energía GEE recomendadas para acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 y el Estatuto Tributario se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 35. Resumen de acciones o medidas de gestión eficiente de energía para las que se recomiendan incentivos tributarios.

Sector	Medidas	Acciones
Transversal	Iluminación LED	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de luminarias LED para el sector residencial dentro de un programa de eficiencia energética o equipamiento de viviendas VIS o VIP - Adquisición de luminarias LED para cualquier sector productivo - Adquisición de equipos de control y telegestión para alumbrado público.
	Medición o submedición inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de medidores inteligentes para cualquier tipo de usuario final - Adquisición de equipos de submedición para equipos de uso final en cualquier sector productivo. - Adquisición de equipos de control, monitoreo y automatización de procesos en cualquier sector productivo
	Auditoría energética	<ul style="list-style-type: none"> - Realización de auditoría energética a edificaciones de cualquier tipo. - Realización de auditoría energética a cualquier proceso productivo.
	Vehículos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de vehículos nuevos eléctricos (incluye vehículos livianos, taxis, buses y camiones) para cualquier sector productivo

Sector	Medidas	Acciones
Transversal	Vehículos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de equipos para la recarga para vehículos eléctricos de cualquier categoría en modalidad pública o privada.
	Distritos térmicos	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de chiller eléctrico y de absorción. - Adquisición de motores de combustión interna o microturbinas. - Adquisición de bombas eléctricas. - Adquisición de intercambiador de calor.
Construcción sostenible (en cualquier sector)	Medidas pasivas en edificaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios de diseño bioclimático para el aprovechamiento de sol y viento - Adquisición de materiales y elementos para el aislamiento de cubierta y muros exteriores que permita regular la temperatura al interior del edificio. - Adquisición de equipos y estructuras de control solar en vidrios. - Adquisición de equipos para ventilación natural.
	Medidas activas en edificaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de equipos de control de iluminación en zonas comunes. - Adquisición de sistemas de medición y control de aire acondicionado. - Adquisición de ascensores, escaleras eléctricas y sistemas de bombeo.
Residencial	Neveras y estufas eficientes	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de neveras etiqueta A enmarcada dentro de un programa de eficiencia energética o equipamiento de viviendas VIS o VIP

Sector	Medidas	Acciones
Residencial	Neveras y estufas eficientes	<ul style="list-style-type: none"> -Adquisición de estufas de gas eficientes enmarcada dentro de un programa de eficiencia energética o equipamiento de viviendas VIS o VIP - Normalización de acometidas eléctricas internas para cumplimiento de norma RETIE en viviendas residenciales usadas de estratos 1 o 2.
Transporte	Taxis híbridos	- Adquisición de taxis nuevos híbridos de las tecnologías HEV o PHEV
	Transporte de carga a gas	- Adquisición de camiones nuevos dedicados a gas combustible
	Transporte de pasajeros a gas	- Adquisición de buses nuevos dedicados a gas combustible
	Transporte férreo eléctrico	- Construcción de sistemas férreos eléctricos para el transporte de pasajeros o carga
Industrial y terciario	Fuerza motriz	- Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia
	Calor directo	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos - Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor
	Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de equipos de refrigeración y compresores. - Adquisición de equipos de control y automatización de refrigeradores. - Adquisición de equipos para la recuperación de calor de la refrigeración
	Calor indirecto	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de economizadores para calderas. - Adquisición de equipos de optimización de la combustión y de recuperación de calor y vapor

Sector	Medidas	Acciones
Industrial y terciario	Calor indirecto	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición y mantenimiento de aislamientos térmicos
	Diseño e implementación de SGE bajo norma ISO 50001	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios de diseño y acompañamiento en la implementación de la norma ISO 50001. - Servicios de certificación de la norma ISO 50001. - Adquisición de equipos que no se encuentren listados pero que hagan parte de la certificación de la norma ISO 50001.
	Climatización	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de sistemas de aire acondicionado eficientes
Termoeléctrico	Optimización de procesos	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de sistemas de limpieza continua - Adquisición de aislamientos térmicos - Adquisición de precalentadores eficientes - Adquisición de equipos para la recuperación de calor residual y de purga. - Retrofit de los pulverizadores de carbón o de los equipos centrífugos
Producción y transporte de hidrocarburos	Optimización de procesos	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de bombas eléctricas. - Adquisición de equipos para reducción de fugas o recuperación de vapor. - Adquisición de motores eléctricos de alta eficiencia para reemplazar motores a gas o motores sobredimensionados. - Implementación de sistemas de enfriamiento central en lugar de sistemas individuales.

Sector	Medidas	Acciones
Producción y transporte de hidrocarburos	Generación de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de motores para generación de energía eléctrica para aprovechamiento del gas recuperado. - Implementación de ciclo rankine orgánico para recuperar calor residual en motores y turbinas. - Implementación de ciclo STIG para recuperar la energía de los gases de las turbinas de gas. - Adquisición de equipos para la producción de energía eléctrica por caída de presión de crudo.
	Recuperación de gas	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de equipos para la recuperación de gas de tea y de hidrocarburos condensables. - Adquisición de equipos de sustitución del control de vapor.
Minería	Optimización de procesos	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de equipos para la recuperación de calor o del gas residual. - Adquisición de motores y variadores de alta eficiencia. - Adquisición de maquinaria amarilla eléctrica. - Adquisición de equipos de optimización de la combustión. - Adquisición de correas de transporte móviles o regenerativas. - Adquisición de bombas eléctricas.
Almacenamiento de energía eléctrica	Almacenamiento de energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica para reducir la necesidad de generación térmica fuera de mérito.

Medidas de política pública

Consumo informado y consciente.

En un mundo interconectado, la información fluye rápidamente y los consumidores mejor informados toman mejores decisiones. En este sentido, la conjunción entre la digitalización, el precio al carbono y las etiquetas son herramientas que pueden generar transformaciones de fondo y largo plazo en el consumo energético.

El uso de dispositivos digitales de medición y control que den cuenta del comportamiento del consumo energético, son un primer paso para la optimización del uso de la energía. Por lo anterior, en este documento se recomiendan los incentivos tributarios a los equipos de medición inteligente en los sectores de uso final y a las herramientas para la submedición y el monitoreo a las variables operacionales que impactan el consumo de energía en el sector termoeléctrico e industrial.

Sin embargo, la medición debe estar acompañada de otros elementos que permitan potenciar la información que se recibe a través de esos dispositivos. Uno de ellos es la habilitación de sistemas tarifarios que varíen con las condiciones del sistema eléctrico, de las congestiones y de los recursos que se utilizan para generar en tiempo real; facturas con comparaciones y detalles del consumo, para que en conjunción con la información del consumo se puedan definir respuestas de demanda óptimas.

El precio como una de las variables más importantes en la toma de decisiones de los consumidores, además de revelar la escasez o abundancia relativa de los recursos debe también recoger las externalidades negativas asociadas la producción y uso de los bienes que se consumen. Por ello, el establecimiento de un esquema de precio al carbono es necesario para además de enviar señales de sustitución a los consumidores, permitan habilitar inversiones en tecnologías que aceleren la transformación energética y con ello se mitiguen los impactos asociados al cambio climático.

Implementar un esquema para el precio del carbono no es una recomendación novedosa. De hecho, el reporte trimestral de precios de carbono de Wood Mackenzie para 2021 (WM, 2021) afirma que actualmente existen 65 regímenes de precios al carbono en el mundo, dentro de los que se encuentra el reciente mercado chino. Por lo anterior, diseñar un esquema de precios al carbono que se adecue a las circunstancias locales habilitaría la entrada de varias tecnologías que hoy encuentran difícil competir con los energéticos existentes.

Finalmente, las iniciativas de etiquetado energético y los estándares mínimos de desempeño energético *minimum energy performance standard* (MEPS, por sus siglas en inglés) para equipos de uso final de energía, vehículos y edificaciones deben continuar, fortalecerse e implementarse. La experiencia internacional muestra que la introducción de estándares mínimos de eficiencia energética ha sido efectiva sobre todo en países donde la información al consumidor, la autorregulación y el avance tecnológico, no logran motivar a los usuarios a privilegiar la compra de productos con mayores niveles de eficiencia energética (Ministerio de Energía de Chile, 2016).

En este sentido, vale la pena destacar el estudio realizado por el Ministerio de Minas y Energía en 2020 (MME, 2020) identifican como conveniente que se expanda el etiquetado a equipos de iluminación, televisores, microondas y ventiladores, de forma similar al etiquetado vigente establecido por el reglamento RETIQ para equipos de aire acondicionado, refrigeradores, congeladores, balastos, motores, lavadoras y calentadores. Y en la hoja de ruta del Ministerio también se propone la adopción de una etiqueta vehicular.

Teniendo en cuenta lo anterior, las recomendaciones de política pública y los responsables de su implementación son las siguientes:

- Habilitar la tarificación dinámica y diseñar mecanismos tarifarios que incentiven a los usuarios finales a optimizar su consumo energético: Ministerio de Minas y Energía y Comisión de Regulación de Energía y Gas.
- Implementar un mercado y esquema de precios al carbono: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento de Planeación Nacional y Ministerio de Hacienda⁴⁴.
- Definir una hoja de ruta y un plan de etiquetado nacional: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Recambio de electrodomésticos y gasodomésticos y potencial de reactivación económica local.

El sector residencial tiene un potencial de eficiencia energética significativo. Por lo anterior, para alcanzar las metas propuestas en este documento es de vital importancia avanzar en la sustitución de neveras, instalación de iluminación LED y recambio de estufas ineficientes.

Bajo este contexto, los constructores de vivienda y los distribuidores de energía eléctrica y gas natural son los agentes protagonistas y habilitadores de este cambio tecnológico.

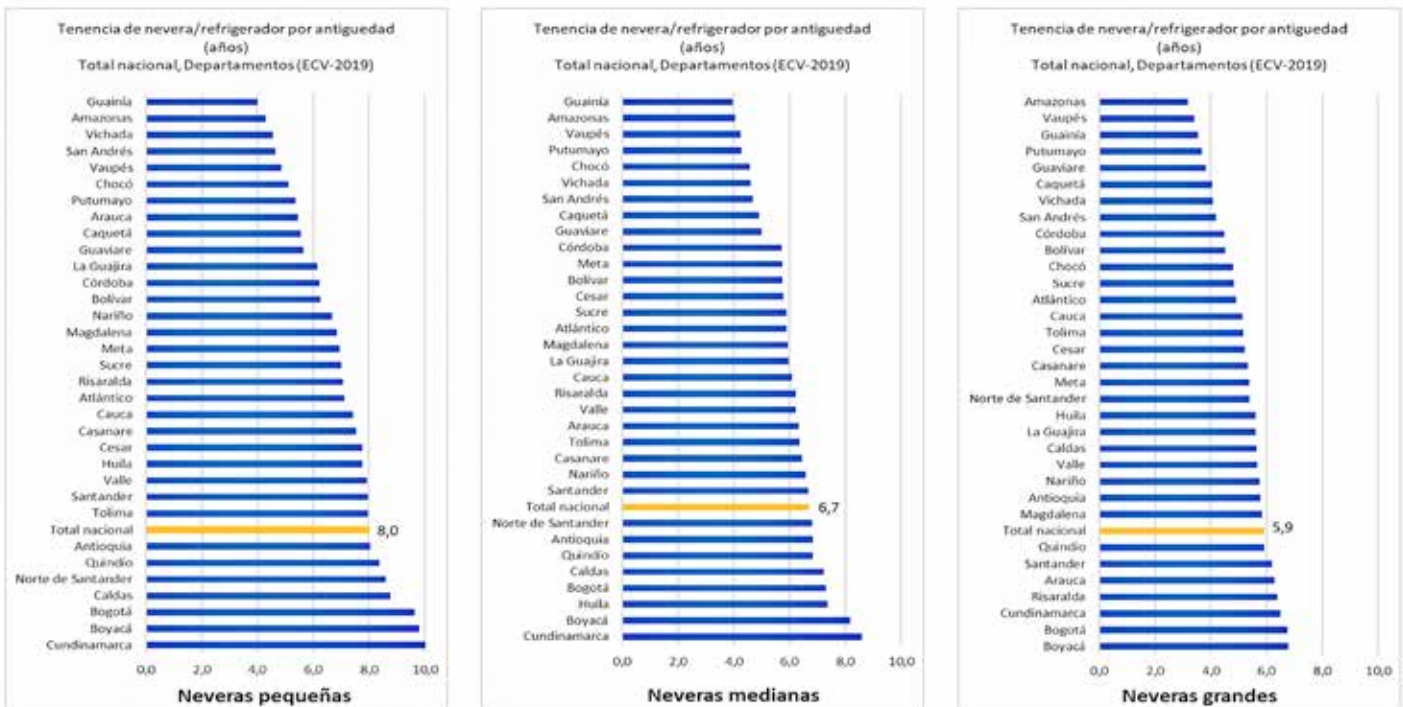
Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida del año 2019 del DANE (ECV 2019), se puede concluir que el mayor potencial de recambio de refrigeradores pequeños⁴⁵ y medianos (con más de 10 años) se concentran en Bogotá, Cundinamarca y Boyacá.

De acuerdo con la ECV 2019, el 80,7% de hogares (12,91 millones de hogares) cuentan neveras o refrigeradores, en el área urbana la tenencia alcanza el 86,4% y en área rural el 62,2%. Del total de hogares con nevera, un poco más de la mitad (55,3%) tienen una de tamaño mediano, mientras que casi la tercera parte (34,1%) indicaron que la nevera era de tamaño pequeño. En los centros poblados y rural disperso, el tamaño que predomina de la nevera o refrigerador es de tamaño pequeño, especialmente de departamentos de Nariño (78,6%), Putumayo (67,9%), Sucre (64,4%), Cauca (62,6%), Arauca (58,5%), Caquetá (57,7%), entre otros.

⁴⁴Ver disposiciones de la Ley 1931 de 2018.

⁴⁵Menos de 1,7 metros de altura.

En cuanto a la antigüedad de la nevera, medida en años, se observa que el promedio nacional de antigüedad oscila entre 6 y 8 años. En Cundinamarca, Boyacá y Bogotá se observó tenencia de neveras de alrededor de 10 años, siendo esta una característica de hogares con neveras de tamaño pequeño. En general, las neveras y refrigeradores de mayor tamaño (mayor a 1,7 metros de altura o con dos puertas laterales o 2 puertas y gavetas) presentan en promedio menor antigüedad que las neveras y refrigeradores de tamaño pequeño.



Fuente: UPME-DANE

Gráfico 43. Edad promedio de las neveras por departamento

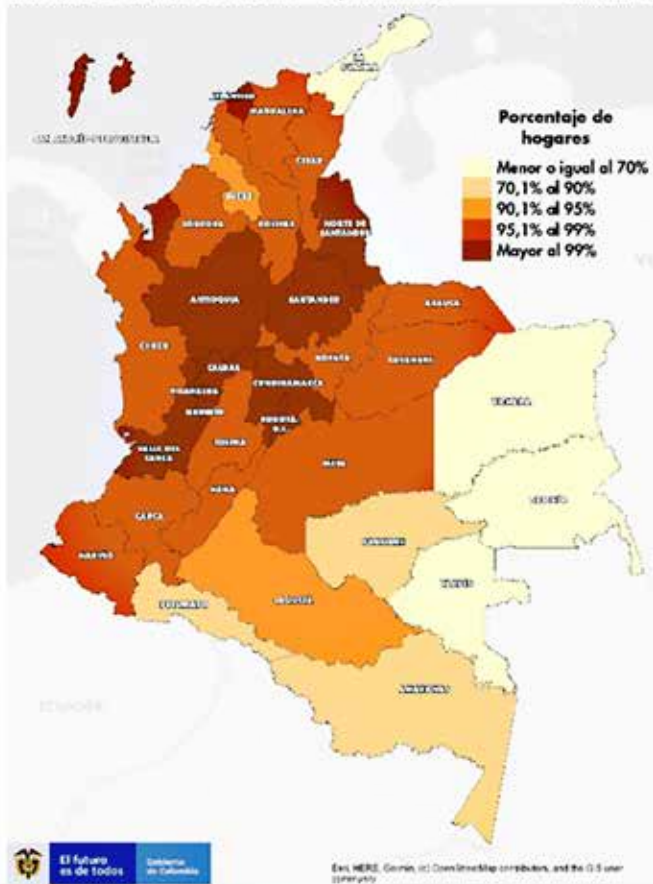
En cuanto a la iluminación, la ECV 2019 indica que el 97,9% de los hogares del país, la fuente principal de iluminación proviene de energía eléctrica. Para los hogares ubicados en la cabecera este porcentaje aumenta a 99,7% y aquellos los ubicados en centros poblados y rural disperso, el porcentaje desciende a 91,8%. Otras fuentes de iluminación como velas, lámparas de pilas o baterías o de kerosene o gasolina tienen menos del 1% de participación dentro del total nacional de hogares.

Con respecto a la tecnología, la ECV 2019 indica que el 47,3% de los hogares tienen bombillos tipo LED, seguida de bombillos fluorescentes (45,4%). Estas tecnologías se usan predominantemente en los hogares urbanos de los principales departamentos del país; Bogotá (70,4%), Antioquia (65,3%), y Valle (65,3%). Por su parte, los departamentos con menor utilización de LED son: Guainía (13,9%), La Guajira (17,4%) y Córdoba (18,6%). En estos tres departamentos se utilizan principalmente como fuente de iluminación, las bombillas fluorescentes compactas y bombillas incandescentes.

Las bombillas incandescentes halógenas o con tubos fluorescentes (balastos) tienen una participación del 3% de los hogares. A nivel de departamento se destacan por un mayor uso de balastos los hogares de Valle (7,7%), Norte de Santander (5,1%), Antioquia (4,3%), Quindío (4,1%), Risaralda (3,7%) y Huila (3,6%).

La iluminación con bombillo LED es una característica de los hogares ubicados en las cabeceras de los municipios, dado que la utilización de esta tecnología en los hogares ubicados en los centros poblados y rurales llega solo a 24,0%. Los hogares ubicados en los centros poblados y rural disperso se caracterizan por el uso de bombillas incandescentes, sobresaliendo La Guajira (87,5%), Chocó (73,5%), Sucre (71,6%), Bolívar (70,3%), Magdalena (68,6%), Cauca (64,0%), Nariño (62,9%), y Arauca (62,4%)

Hogares por fuente de iluminación principal
Energía eléctrica
Encuesta de Calidad de Vida 2019 - Departamentos



Hogares con bombillas LED
Encuesta de Calidad de Vida 2019
Departamentos - Total

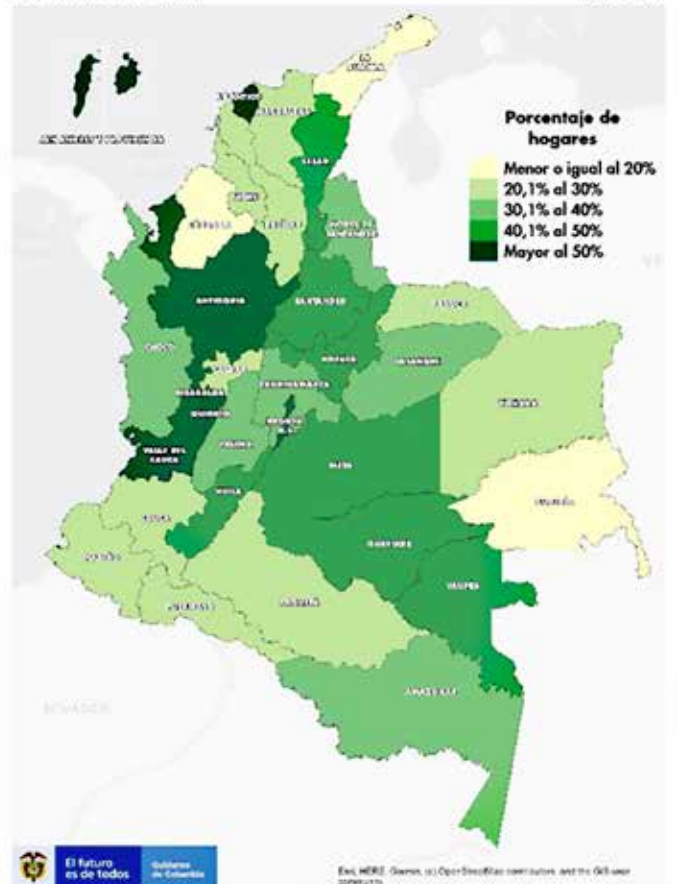


Gráfico 44. Información ECV 2019 con respecto a la iluminación en el sector residencial

Con lo anterior, se concluye que el mayor potencial de recambio tecnológico en el sector residencial en iluminación LED se concentra en las áreas dispersas de los departamentos de la costa Caribe.

Ahora bien, teniendo en cuenta el contexto de la reactivación económica del país ante lo acontecido en el año 2020, la UPME realizó un diagnóstico del estado de los electrodomésticos de producción nacional con mejores eficiencias con el fin identificar estrategias de promoción en el PAI-PROURE (Contrato C-055 de 2021- Diagnóstico de electrodomésticos de producción nacional y estrategias para su promoción, UPME, 2021).

En dicho análisis se identificó que los electrodomésticos y gasodomésticos que tienen una mayor proporción de producción nacional que de importaciones y que pueden ser catalogados como eficientes son los equipos de refrigeración doméstica y las estufas a gas. En este sentido, la promoción de neveras eficientes y sustitución de estufas coincide

con el interés del Gobierno Nacional de promover la industria local en el marco de la reactivación económica.

En general para incentivar la producción y uso de estos equipos eficientes, se proponen estrategias dirigidas a los diferentes segmentos de la cadena de los electrodomésticos, que apoyen el cumplimiento de las metas de eficiencia establecidas, dentro de las que se destacan: i) la normalización y el etiquetado de nuevos equipos (ventiladores, estufas o cocinas eléctricas y de inducción y luminarias), ii) las viviendas dotadas con equipos básicos eficientes en VIS y VIP, el desarrollo de nuevas líneas de fomento dirigidas a los fabricantes, iii) el IVA diferencial para electrodomésticos eficientes y iv) el renting de electrodomésticos, entre otros.

Teniendo en cuenta los dos puntos anteriores, la construcción de viviendas para segmentos de VIS y VIP o bajo los programas del gobierno como lo es “Casa digna, vida digna” podría incluir el equipamiento con neveras etiqueta A y estufas de gas eficientes, con el fin de que los nuevos usuarios residenciales cuenten con equipos con un mayor rendimiento energético y de paso se promueva la salida de equipos antiguos.

Para los usuarios existentes, los distribuidores de energía eléctrica y gas natural como agentes concededores de la tecnología y a su vez agregadores de usuarios finales son los llamados a crear esquemas innovadores que le permitan a sus usuarios acceder a nuevas tecnologías.

Para el caso de neveras e iluminación, la propuesta de la UPME es que los distribuidores de energía eléctrica puedan diseñar programas de recambio en donde ofrezcan a los usuarios finales de estratos 1 y 2 posibilidades de financiación en el cambio de equipos y como contrapartida compartan los incentivos tributarios asociados a la compra de neveras etiqueta A e iluminación LED. En este sentido, el distribuidor es el llamado a concebir una estrategia de sustitución de neveras teniendo en cuenta las características de sus clientes e incluyendo la disposición final de los equipos viejos.

Otra de las medidas identificadas como deseadas en el marco de la eficiencia energética como habilitadora del recambio tecnológico es la normalización de acometidas internas. En este sentido, la propuesta es que los distribuidores de energía eléctrica realicen inspecciones periódicas en instalaciones internas de viviendas usadas, priorizando las de mayor antigüedad, con el fin de promover la normalización en aquellas que no cumplan con la normativa vigente.

Con la identificación de estos usuarios, los distribuidores también podrían crear programas de normalización de acometidas eléctricas en viviendas usadas de estratos 1 y 2, complemento del programa de sustitución de electrodomésticos. La UPME propone que los servicios de normalización de acometidas internas que se enmarquen dentro de programas de eficiencia energética promovidos por los distribuidores o financiados a través del FENOGE para viviendas usadas en estratos 1 y 2 puedan acceder a los incentivos tributarios.

Teniendo en cuenta lo anterior, las recomendaciones de política pública y los responsables de su implementación son las siguientes:

- Creación de areneras regulatorias para la implementación de programas de eficiencia energética con metas de sustitución de equipos. Los distribuidores de energía eléctrica como conocedores de sus clientes y su mercado están en la capacidad de diseñar estrategias de financiación a través de la factura, en los que se promueva la sustitución y disposición final de refrigeradores viejos por neveras etiqueta A, así como la adopción de iluminación LED, complementado con la normalización de las acometidas internas en caso que se requiera. Los incentivos tributarios definidos en la Ley 1715 de 2014 para inversiones en gestión eficiente de la energía serían otorgados a los distribuidores que presenten su programa enmarcado en dichas areneras regulatorias. Ministerio de Minas y Energía y Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG.
- Inclusión de análisis de eficiencia energética en las revisiones periódicas de gas natural y creación de areneras regulatorias que le permitan a los distribuidores diseñar programas de eficiencia energética orientados a sustituir estufas ineficientes por unas de mejor desempeño. Los incentivos tributarios definidos en la Ley 1715 de 2014 para inversiones en gestión eficiente de la energía serían otorgados a los distribuidores que presenten su programa enmarcado en dichas areneras regulatorias. Ministerio de Minas y Energía y Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG.
- Reglamentar la realización de inspecciones periódicas a las instalaciones internas en usuarios residenciales de energía eléctrica, para identificar los potenciales de eficiencia energética que se pueden perder, por la falta de acometidas internas que cumplan con la norma RETIE. Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG y Ministerio de Minas y Energía
- Articular los programas de eficiencia energética que se presenten en las areneras regulatorias de eficiencia energética en el sector residencial con los programas de financiamiento del FENOGÉ. Ministerio de Minas y Energía y FENOGÉ.

Establecimiento de criterios mínimos de eficiencia energética para la participación en las actividades de producción de energía.

La explotación de recursos energéticos es una actividad que se delega a empresas con el consentimiento y bajo la supervisión del Estado. En ese orden de ideas, el Estado está en potestad de exigir unos requisitos mínimos a quienes desarrollan estas actividades para garantizar criterios de interés para la Nación.

Así como cuando una empresa obtiene un certificado de calidad, quien compra los productos de esa empresa tiene la garantía de que el proceso de fabricación o de prestación del servicio cumple con un procedimiento pensado para satisfacer su necesidad. En la producción y en general en toda la cadena de suministro de energéticos se deberían establecer estándares mínimos de gestión eficiente de energía.

Si bien los procesos de certificación normalmente son voluntarios y las empresas lo hacen con el fin de diferenciarse de sus competidores, las cadenas de suministro de energéticos son altamente concentradas, muchas de ellas son monopolios naturales o de facto, por lo que se requiere la intervención del Estado en la exigencia de unos requisitos mínimos que

se obtienen a través de una certificación. Por lo anterior, migrar hacia esquemas en los que se implemente los sistemas de gestión de energía bajo la NTC ISO 50001 con miras a la certificación, como requisito para poder participar y operar en el mercado colombiano permite capitalizar ahorros energéticos a bajo costo, darle garantía a los usuarios finales que los procesos de extracción y producción de energía se hacen con un estándar en los que se optimiza el recurso energético y por ello, se mitiga parte de su impacto ambiental.

En el sector eléctrico por ejemplo se exige certificación de ISO 55001 para los transportadores y distribuidores de energía, con el fin de garantizar que los operadores cuentan con un sistema de gestión de activos acorde con las necesidades de sus usuarios y se garantice a largo plazo un estándar mínimo de prestación del servicio. Por lo que una exigencia de este estilo a los generadores termoeléctricos, la producción y transporte de hidrocarburos y las operaciones mineras es factible y dado el reducido número de agentes que participan en estas actividades permite su fácil implementación y monitoreo.

Por lo anteriores motivos, la recomendación de política pública es la siguiente:

- Establecer como requisito la certificación de la norma NTC ISO 50001 de sistemas de gestión de energía a los generadores térmicos, la producción y transporte de hidrocarburos y la producción minera, considerando esquemas de transición para que haya un periodo de tiempo que permita a los agentes conocer la norma, adecuar sus sistema y posteriormente migrar hacia un esquema certificado: Ministerio de Minas y Energía y Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Enfoque territorial para avanzar en la sustitución de leña.

De acuerdo con la Encuesta de Calidad de Vida (DANE 2019), el uso de la leña y otros energéticos ineficientes se registra en 31 departamentos del país, en un rango que varía entre el 2% y el 80% del total de hogares de cada departamento. Tales diferencias se explican tanto por la diversidad de condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales, como por la disparidad en los niveles de cobertura de combustibles alternativos en las distintas regiones del país.

Para que la planeación logre resultados eficaces en la sustitución de leña es crucial incluir en el ejercicio de la UPME un enfoque territorial. Bajo este nuevo enfoque se complementa el análisis técnico con otros aspectos como los culturales, ambientales, financieros o geográficos para entender la dinámica de los usuarios. Por lo anterior, una estrategia eficaz para sustituir la leña en la cocción requiere una comprensión ampliada de este comportamiento, para identificar soluciones prácticas y útiles en cada contexto.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, el enfoque territorial dentro de la planeación permite reconocer tanto el potencial como las inflexibilidades locales o regionales para la incorporación de mejoras en eficiencia energética y, por ende, otorga a la planeación una visión más cercana a la realidad.

Además, este enfoque permite identificar las necesidades en términos de articulación entre los distintos niveles de gobierno y la coordinación de esfuerzos por parte del sector energético y desde otros sectores (ambiental, salud, educación, entre otros).

Teniendo en cuenta lo anterior y reconociendo que en el sector residencial el gran reto sigue siendo la sustitución de leña, las recomendaciones son las siguientes:

- Desplegar campañas de salud pública para informar los riesgos y problemas respiratorios que se derivan del uso de leña para cocción: Ministerio de Salud.
- Definición de un plan de sustitución de leña con enfoque territorial que contemple la migración hacia gases combustibles o energía eléctrica: Unidad de Planeación Minero Energética.

Reconversión del sector automotriz

Como revelan las simulaciones de este ejercicio, el sector transporte es determinante para la concreción de metas de eficiencia energética del país. El reto de transformación de este sector no es minúsculo, pues para materializar la reconversión tecnológica y habilitar la sustitución de combustibles se requiere todo un conjunto coordinado de señales que configuren un ambiente propicio para esta transformación.

Las metas propuestas en este PAI-PROURE para la penetración de tecnologías de cero y bajas emisiones son ambiciosas. La renovación del parque vehicular simulado en este plan corresponde a un porcentaje en ventas que alcanzaría más del 40% en aquellas categorías con mayores perspectivas de ascenso tecnológico como lo son los automóviles, taxis, microbuses, buses y motos.

Porcentaje de participación de tecnologías cero y baja emisión en la ventas totales anuales

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Automóviles y camperos	6%	13%	21%	31%	40%	43%	45%	46%	47%	47%
Taxis	6%	14%	18%	23%	30%	33%	38%	41%	50%	55%
Camionetas	3%	4%	6%	9%	14%	16%	20%	24%	30%	33%
Microbuses	20%	30%	35%	37%	50%	56%	56%	59%	60%	60%
Buses	20%	30%	35%	37%	50%	52%	51%	54%	57%	60%
Camiones	1%	4%	5%	6%	8%	10%	11%	14%	15%	16%
Tractocamiones	1%	3%	5%	5%	6%	8%	8%	10%	10%	13%
Motos	28%	32%	36%	39%	43%	46%	50%	54%	57%	61%

Los incentivos tributarios están dirigidos a subsanar una de las principales barreras para la reconversión tecnológica, que corresponde a los precios de adquisición de los nuevos vehículos. Sin embargo, esta señal debe ser complementada con otras políticas orientadas a reducir los riesgos percibidos por los usuarios finales con relación al ascenso tecnológico.

De acuerdo con los resultados del estudio de UPME (2020b), además de la inversión en los vehículos, las barreras más importantes para el ascenso tecnológico son: la disponibilidad del energético, la configuración de una red de puntos de recarga y servicios de mantenimiento y la falta de información.

La disponibilidad de los energéticos tiene dos aristas, la oferta suficiente y la infraestructura necesaria para proveer la energía en los centros de consumo. En este sentido, el crecimiento de la flota a gases combustibles está supeditado a la explotación y comercialización de recursos internos y la infraestructura de importación, que permita abastecer la demanda de forma confiable a largo plazo.

Por el lado de la energía eléctrica, además de la construcción de la capacidad necesaria para soportar estas nuevas demandas, el gran factor habilitador serán las redes, en particular, las de distribución, pues es necesario que estén en condiciones óptimas para soportar aumentos y potenciales picos de demanda provocados por la recarga de vehículos eléctricos.

En cuanto a la infraestructura de recarga eléctrica hay que actuar tanto en una red de corredores principales que permita realizar viajes de largo alcance y en la actualización de los códigos urbanos para habilitar la carga en propiedad privada y en parqueaderos públicos.

En cuanto al mantenimiento especializado y la producción e importación de partes, hoy resultan inexistentes o muy incipientes en el país, lo cual limita la adopción de estas nuevas tecnologías vehiculares. Por lo anterior, parte del ascenso tecnológico dependerá de la definición de estándares que creen un volumen suficiente que habilite financieramente la importación de partes o la producción de las mismas en el país, así como el desarrollo de capital humano capacitado para la operación y mantenimiento de las nuevas tecnologías.

En concordancia con la sección de consumo consciente e informado, el recambio tecnológico del sector transporte no es posible si una masa crítica de consumidores finales no entienden el funcionamiento, las ventajas y las implicaciones de comprar vehículos eléctricos. En ausencia de este conocimiento colectivo, los usuarios optarán por tomar decisiones considerando únicamente las opciones conocidas o tradicionales (UPME 2020b).

Por lo anterior, las señales de precio y las posibilidades de financiación en el sector transporte son imprescindibles para motivar el recambio de flota. Por el lado de las señales de precio, los precios de los combustibles fósiles y la estructura impositiva de los vehículos son instrumentos potentes para internalizar las externalidades negativas que tiene la obsolescencia tecnológica en el medio ambiente. De igual forma, en el transporte público se puede concebir esquemas tarifarios diferenciados en los que se reconozca en el precio que paga el usuario, el beneficio ambiental y energético de adoptar nuevas tecnologías.

Una nueva estructura tributaria para todo el parque automotor y diseñar tarifas diferenciadas en el transporte público son mecanismos para señalar al usuario final las ventajas de las nuevas tecnologías y también una forma de financiar el recambio tecnológico.

Por lo anteriores motivos, las recomendaciones de política pública son las siguientes:

- Actualización de los estándares de calidad del servicio público de pasajeros y las características de los vehículos de transporte público para incorporar aspectos ambientales y rendimientos energéticos mínimos homogéneos que habiliten la compra masiva de buses y microbuses de cero y bajas emisiones: Autoridades de

transporte locales, gestores de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo SITM, Sistemas Estratégicos de Transporte Público SETP y Ministerio de Transporte.

- Establecer un etiquetado vehicular para que los compradores cuenten con información disponible que les permita comparar de forma fácil y sencilla, el rendimiento energético y el impacto ambiental de las diferentes tecnologías, al momento de tomar decisiones de adquisición: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte.
- Mejorar las fuentes de información para la toma de decisiones de política pública a través del fortalecimiento del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) aumentando el número de registro de automóviles con nivel de emisiones: Ministerio de Transporte. Así mismo, es pertinente actualizar los factores de emisión de los combustibles colombianos (FECOC) para que integren las características del parque automotor, la topografía local y los ciclos de conducción típicos: Unidad de Planeación Minero Energética.
- Ampliar el portafolio de formación para conductores y servicios de mantenimiento enfocado en nuevas tecnologías vehiculares y conducción eficiente: Servicio Nacional de Aprendizaje y otras entidades del sector educativo.
- Incorporar en la estructura tributaria del sector transporte, las externalidades negativas asociadas a los impactos ambientales: Ministerio de Hacienda, Ministerio de Transporte.

Definir e implementar un programa de Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEES) generados por la flota eléctrica de transporte de pasajeros, de carga y vehículos de movilidad individual: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Establecer esquemas de restricciones a la circulación por peso y emisiones para priorizar e incentivar el cambio a vehículos de bajas emisiones y alta eficiencia energética a nivel urbano: Autoridades de transporte locales, Ministerio de Transporte.
- Establecer el programa de desintegración de flota que sale de circulación al momento de realizar el reemplazo hacia tecnologías de cero y bajas emisiones: Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Victorias tempranas y áreas en las que persisten los altos costos tecnológicos y de transacción.

Gracias a este ejercicio se ha identificado que hay áreas en las que se pueden lograr victorias tempranas en materia de eficiencia energética en los sectores terciario e industrial, dado el desarrollo tecnológico que han alcanzado ciertos equipos de uso final.

La primera área en donde se pueden capitalizar ganancias en eficiencia energética es en la iluminación gracias a la tecnología LED. Por un lado, son una tecnología con alta

difusión y comercialización en el mercado, por lo que su adquisición no requiere mayores conocimientos especializados. Y por el otro, estas luminarias han reducido sus costos de forma acelerada y se prevé que lo sigan haciendo, manteniendo la eficacia lumínica o incluso aumentando. Por lo anterior, la recomendación que se deriva en este documento es extender los beneficios tributarios a esta tecnología, sin importar el sector productivo en el que se implemente.

La segunda área en la que la UPME identifica victorias tempranas es en la adopción de sistemas de gestión de energía bajo la norma ISO 50001. Los sistemas de gestión de energía son herramientas que permiten identificar de forma progresiva las adecuaciones de bajo, mediano y alto costo que se pueden implementar en un establecimiento y los potenciales ahorros que se obtendrían con dichas inversiones. Gracias a que contempla acciones asociadas a buenas prácticas operacionales y cambios de costo bajo, este puede ser un primer paso para que los actores privados identifiquen una hoja de ruta hacia una operación óptima en términos energéticos.

Con respecto a la medición avanzada se encontró que esta es una medida costo eficiente, es decir, la totalidad de los costos es inferior a los beneficios que derivan los usuarios, los operadores y la sociedad en general, por la implementación de esta medida.

Los análisis realizados en este documento suponen que con esta tecnología los usuarios finales pueden gestionar su consumo gracias a la información que reciben y las señales tarifarias y los operadores de red pueden reducir sus pérdidas técnicas gracias a la información en tiempo real de los medidores. Gracias a la Ley 2099 de 2021 estos dispositivos tendrán incentivos tributarios, lo que reduciría el costo de la tecnología, facilita su despliegue y con ello se podrían alcanzar los potenciales ahorros de energía.

Sin embargo, las mejoras en eficiencia energética en el sector terciario e industrial tienen barreras importantes a superar. Los altos costos de las nuevas tecnologías, los costos de transacción asociados a la contratación de firmas especializadas en auditorías energéticas y el bajo costo de algunos energéticos contaminantes, son el principal reto para la implementación de estas medidas.

Una potencial forma de subsanar los altos costos de transacción en la implementación de acciones de gestión eficiente de la energía en el sector industrial y terciario puede ser a través de las empresas de servicios energéticos (ESCOs), donde el pago de la ESCO se encuentra asociado a los ahorros logrados a partir de las inversiones realizadas.

Como se mostró anteriormente, las medidas asociadas con la optimización de uso del carbón son las de menor beneficio costo privado, dado el bajo costo del carbón. En este sentido, los incentivos tributarios a las acciones del sector terciario e industrial deben estar complementadas con otras estrategias que fomenten el recambio tecnológico.

Por lo anteriores motivos, las recomendaciones de política pública son las siguientes:

- Implementar un mercado y esquema de precios al carbono: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento de Planeación Nacional y Ministerio de Hacienda.

- Consolidación y extensión de grupos de evaluación de eficiencia energética en las universidades del país para reducir los costos asociados a la auditoría energética. Ministerio de Educación y Ministerio de Ciencia.
- Creación de formaciones técnicas de “líderes energéticos” que permitan a los empleados de las empresas capacitarse en eficiencia energética, realizar autodiagnósticos y evaluaciones, proponer indicadores de seguimiento en estas áreas. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

Fuentes de financiación

Las medidas propuestas en este documento son ambiciosas y requieren recursos para su ejecución. Gracias al ejercicio beneficio-costos realizado se cuenta con una estimación de los potenciales costos incrementales de inversión que se requerirían para la implementación de las medidas propuestas en esta versión del PAI-PROURE.

La estimación de las inversiones incrementales para la totalidad de las medidas propuestas en el PAI-PROURE corresponde al valor presente neto de las medidas propuestas en un periodo de 10 años. La suma de estas inversiones da un total aproximado de 170 billones de COP, es decir un aproximado del 1.8% del PIB nacional agregado en el periodo 2022-2030. Como se puede observar en el siguiente gráfico, el sector en el que se requiere el mayor volumen de inversiones es el sector transporte, al que le corresponde el 55% del total de inversiones estimadas, seguido del sector residencial, industrial y terciario, cuyas participaciones son del 14%, 11% y 11%, respectivamente. Por su parte, el sector de otros si bien requiere un nivel de inversión menor que el de los demás sectores analizados, resulta en el de mayor costo de inversión por PJ ahorrado.

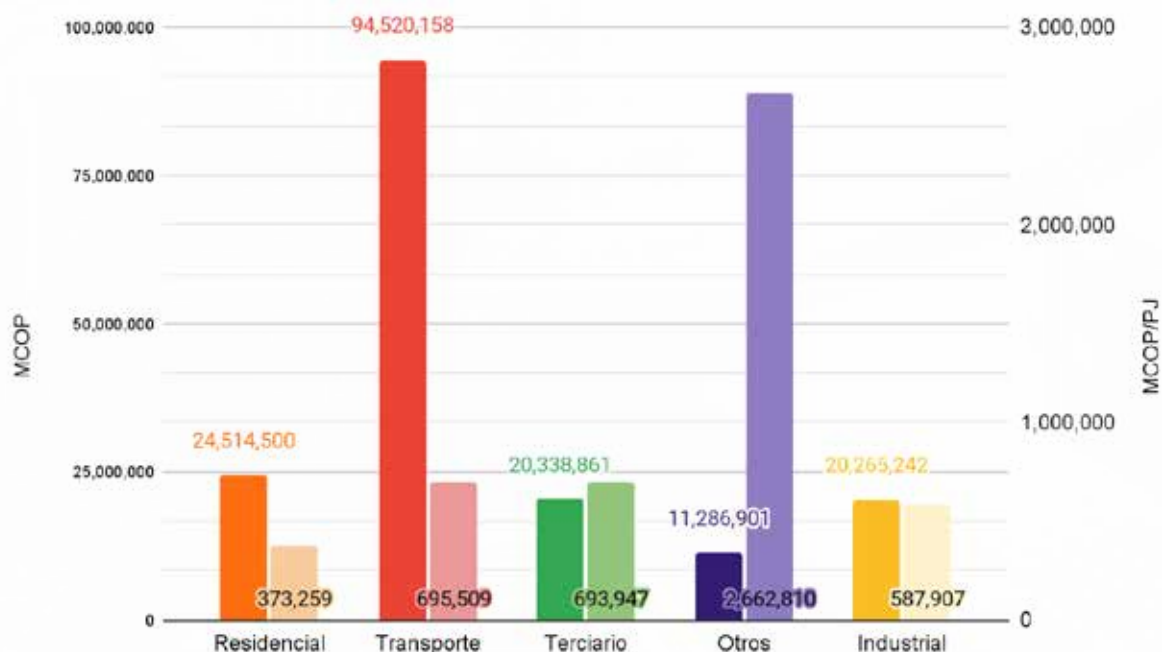


Gráfico 45. Inversiones incrementales estimadas para las medidas del PAI-PROURE en MCOP

El sector transporte es donde se requieren mayores inversiones, las estimaciones de los análisis beneficio-costos arrojan un valor presente de 94 billones de COP de inversión in-

cremental para el recambio de la flota en un periodo de 9 años. Por medida, la de mayor volumen de inversión corresponde a la renovación de la flota de vehículos livianos particulares (automóviles, camionetas, motos y camperos) por eléctricos e híbridos con un estimado de inversión incremental del orden de 60 billones de COP. Sin embargo, si se revisa la inversión incremental por cada PJ ahorrado en energía, se puede ver que la medida de recambio de buses por eléctricos y a gas combustible es la que requiere un mayor esfuerzo de inversión por cada unidad de energía ahorrada.

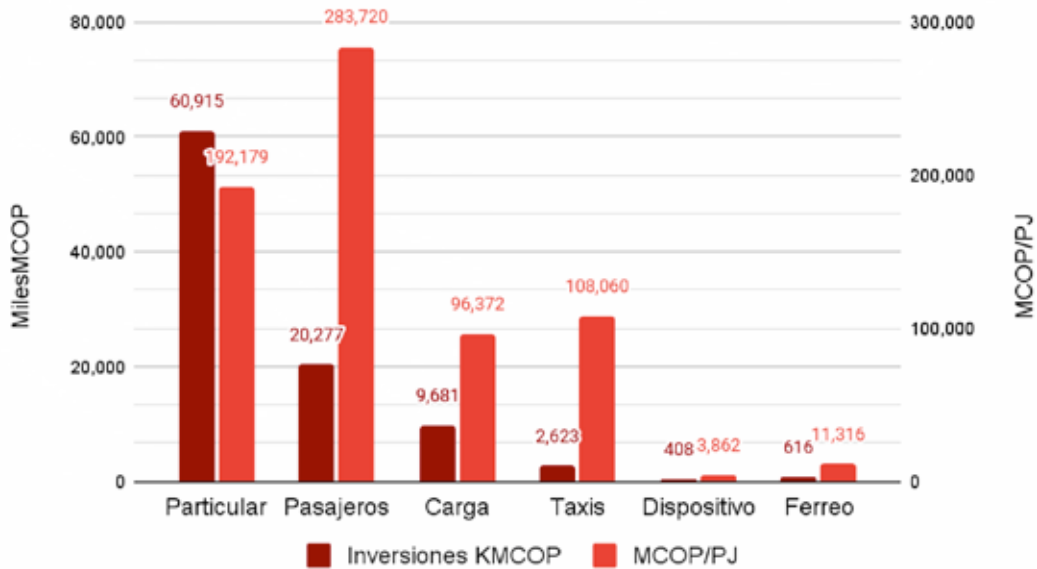


Gráfico 46. Inversiones incrementales estimadas para las medidas del sector transporte

En cuanto al sector residencial, el total de inversión incremental estimado en el periodo analizado es de 24 billones de COP. Las medidas con mayores inversiones incrementales son las referentes al recambio de electrodomésticos y gasodomésticos. El recambio de neveras exigiría un esfuerzo del orden de 14 billones de COP y el de estufas 6 billones. Vale la pena mencionar que la sustitución de leña, no solo es la de mayor aporte en la reducción de consumo energético y al mismo tiempo es la que requeriría menor inversión.

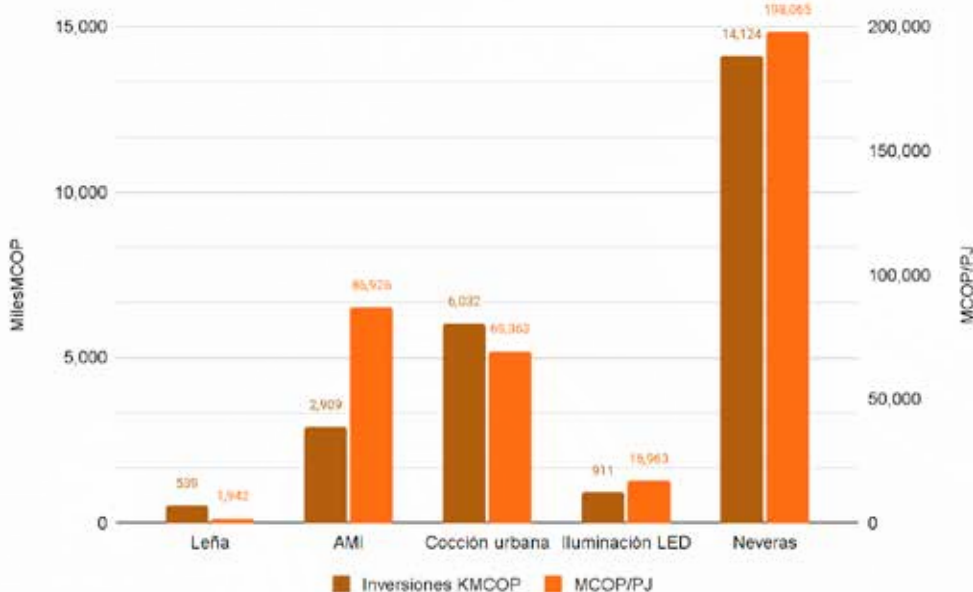
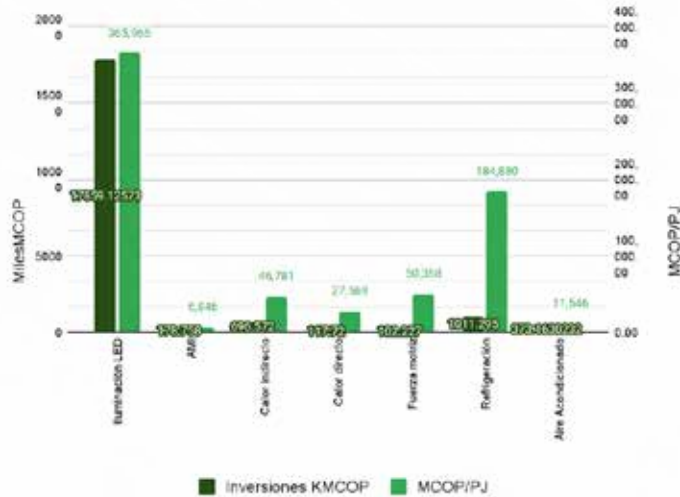


Gráfico 47. Inversiones incrementales estimadas para las medidas del sector residencial

En el sector terciario, la inversión estimada de las medidas propuestas en este documento asciende a 20 billones de COP. La medida más costosa por unidad de energía ahorrada resultó ser la iluminación LED por PJ ahorrado. Por el contrario, las medidas que son las de menor costo por unidad de energía ahorrada son AMI y aire acondicionado.

Por su parte, en el sector industrial las inversiones incrementales son del orden de 20 billones, de los cuales 10 billones de COP corresponden a las medidas relacionadas con fuerza motriz. Para este renglón de la economía, las medidas con menor relación de costo vs energía ahorrada son la refrigeración y la implementación de los sistemas de gestión de energía.

Terciario



Industria

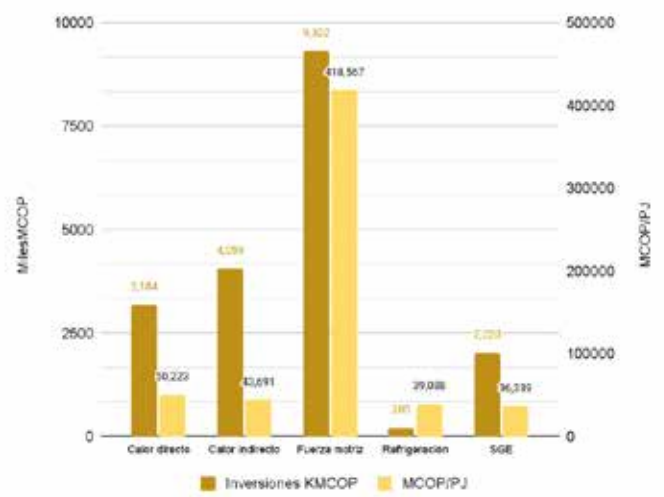


Gráfico 48. Inversiones incrementales estimadas para las medidas del sector terciario e industrial

Para finalizar, en la siguiente gráfica se presentan ordenados de menor a mayor inversión incremental estimada las medidas de otros sectores. Las de menores inversiones corresponden a las de adopción de buenas prácticas operacionales en los sectores de hidrocarburos, generación térmica y producción minera. De otro lado, las dos medidas con mayor costo por unidad de energía ahorrada corresponde al almacenamiento de energía eléctrica, cuya inversión estimada es del orden de 1,5 billones COP por PJ ahorrado, seguida por la construcción de distritos térmicos con 646 mil MCOP.

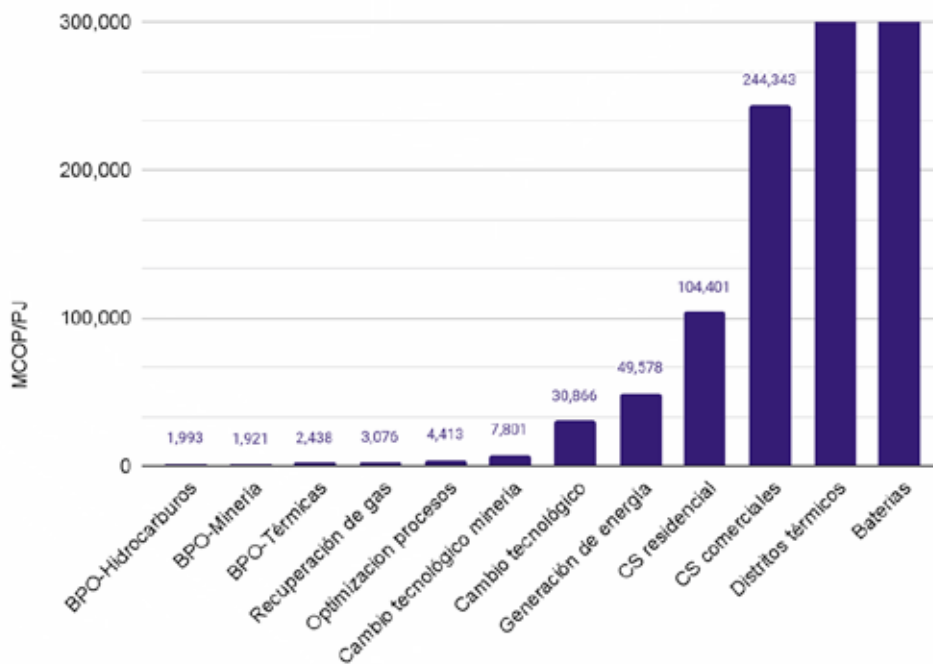


Gráfico 49. Inversiones incrementales estimadas para las medidas de los otros sectores

Teniendo en cuenta los órdenes de magnitud de las inversiones que se requieren, en particular en los sectores que necesitan mayores esfuerzos para alcanzar los potenciales estimados en este documento, a continuación se listan algunas de las fuentes de financiamiento con las que cuentan los interesados en invertir en las medidas de eficiencia energética.



1. Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía FENOGE⁴⁶

El FENOGE fue creado con la expedición de la Ley 1715 de 2014. El propósito de este fondo es financiar, gestionar y ejecutar planes, programas y proyectos de eficiencia energética y el uso de FNCE. Este fondo es uno de los principales instrumentos para movilizar proyectos que ejecuten líneas estratégicas para la reducción de gases efecto invernadero, para el sector minero - energético, y para los sectores de transporte, industria, servicios y residencial.

Los recursos del FENOGE provienen del recaudo de cuarenta centavos (\$0,40) por cada \$1,90 por kilovatio hora que sea despachado en la Bolsa de Energía Mayorista. Estos recursos se utilizan para financiar total o parcialmente de forma reembolsable o no reembolsable proyectos de fuentes no convencionales y gestión eficiente de la energía. La línea de gestión eficiente de energía define unas acciones marco en las que se desarrollar el proyecto, para que sea susceptible a la financiación por parte del fondo:

- Promoción de buenas prácticas para el uso eficiente de energía.
- Cambio de equipos de uso final de energía y la aplicación de tecnologías eficientes en sistemas y procesos de producción, iluminación, fuerza motriz, aire

⁴⁶Visitar <https://fenoge.com/>

acondicionado, refrigeración, combustión, generación de calor y vapor, entre otros, incluyendo la disposición final de equipos sustituidos.

- Implementación de iniciativas para promover e incentivar la respuesta de la demanda.
- Renovaciones, adecuaciones y modificaciones de instalaciones internas y externas de energía eléctrica y térmica que generen ahorros en el consumo energético.
- Diseño e implementación de materiales, equipos y sistemas que fomentan la gestión eficiente de la energía eléctrica y térmica en edificaciones.
- Estudios técnicos, auditorías, interventorías y costos de administración para el desarrollo de proyectos financiados con el fondo.
- Sistemas de gestión de información energética, monitoreo, evaluación y seguimiento.
- Planes, programas o proyectos de respuesta de la demanda, almacenamiento de energía, sistemas de medición avanzada, automatización y redes inteligentes.
- Proyectos de investigación, desarrollo, innovación, transferencia de tecnología o capacitación.
- Centros de eficiencia energética y FNCE en entidades educativas.

Los requisitos para acceder a los recursos del FENOGÉ se encuentran en la Resolución del Ministerio de Minas y Energía No 41407 de 2017. Todos los proyectos que soliciten financiación de este fondo deben contar con una evaluación costo-beneficio en la que se compare el costo del proyecto con los ahorros económicos o ingresos producidos por la adopción del mismo.

Con la expedición de la Ley 2099 de 2021 se modificaron y ampliaron las facultades de este fondo. Dentro de los cambios más relevantes, vale la pena destacar que, se otorga la posibilidad de financiación y/o ejecución a proyectos de producción, almacenamiento, acondicionamiento, distribución, electrificación y uso de hidrógeno verde. Adicionalmente, se permite que los recursos de financiación sirvan como garantía de obligaciones de terceros y finalmente, le da al FENOGÉ la potestad de constituir o invertir en, o ser gestor de vehículos de inversión que tengan como propósito el desarrollo, inversión o ejecución de proyectos de FNCE y gestión eficiente de energía.

2. BANCOLDEX

Bancoldex es el Banco de Desarrollo Empresarial de Colombia enfocado principalmente a apoyar financieramente a micro, pequeñas y medianas empresas. No obstante, también oferta algunos productos que aplican a empresas de gran tamaño.

Bancoldex se fondea en el mercado de capitales mediante la emisión de bonos que son adquiridos por diferentes agentes inversionistas como fondos de pensiones, aseguradoras, fiduciarias, personas naturales. Los recursos captados son prestados a los bancos

comerciales (llamados de primer piso) y a entidades de microcrédito, las cuales a su vez le prestan el dinero a los directos interesados o clientes finales. A través del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo o de algún ente territorial se reciben aportes para subsidiar las tasas de los créditos.

Teniendo en cuenta lo anterior, los solicitantes recurren a los bancos comerciales o entidades de microfinanzas para solicitar los créditos, estas entidades realizan los análisis de riesgos en cada caso y son quienes aprueban o niegan las solicitudes. No obstante, Bancoldex ofrece orientación directa a los interesados sobre las condiciones de operación de la línea y sobre los mecanismos a través de los cuales pueden realizar las solicitudes.

El portafolio general de productos y servicios de Bancoldex incluye 2 grandes grupos:

1. Modalidades tradicionales orientadas a capital de trabajo y modernización empresarial que se basan en líneas de crédito dirigidas a cualquier sector y para cualquier tamaño de empresa.

Estas modalidades se caracterizan, además, por los siguientes aspectos:

- Los créditos son a largo plazo
- No se tiene límite en el monto solicitado por las empresas
- Se suelen establecer periodos de gracia de hasta 3 años

2. Modalidades específicas que se basan en líneas de crédito especiales a través de convenios con aliados estratégicos.

Bajo esta modalidad, el aliado estratégico coloca recursos que permiten mejorar las condiciones financieras de los créditos. Dependiendo del aliado, estas líneas pueden estar orientadas a alguna región específica o apalancar algún tema en particular, por ejemplo, eficiencia energética, desarrollo sostenible, etc.

Los aliados pueden ser actores nacionales o internacionales, banca multilateral, entes territoriales o similares.

Particularmente, la línea “Sostenible Adelante⁴⁷” lanzada al mercado en junio de 2021, cuenta con un cupo de \$ 29,920 millones dirigidos a micro, pequeña, mediana y gran empresa, de cualquier sector, distribuidos de la siguiente manera:

- Cupo de largo plazo (hasta 10 años): \$ 3,780 millones
- Cupo de mediano plazo (hasta 5 años): \$ 23,150 millones
- Cupo de mediano plazo para microempresas (hasta 5 años): \$ 2,990 millones

La línea financia inversiones de las siguientes tipologías:

⁴⁷<https://www.bancoldex.com/soluciones-financieras/lineas-de-credito/linea-sostenible-adelante>

- Economía circular
- Bio- economía
- Cambio climático - incluye GEE

Los recursos otorgados pueden ser de hasta 300 MCOP por empresa, dados de una sola vez o escalonados. Para el caso de las microempresas, el cupo es de hasta 50 MCOP. En cualquiera de los casos se cuenta con un periodo de gracia de hasta 12 meses.



3. FINDETER

La Financiera de Desarrollo Territorial S.A (FINDETER) es una sociedad pública, que planifica, estructura, financia y ejecuta proyectos en diferentes sectores como salud, educación, desarrollo energético, medio ambiente, tecnologías de la información y las comunicaciones (tic), vivienda, transporte entre otros.

FINDETER ofrece diferentes productos y servicios que varían en el mediano plazo. Actualmente, la entidad financia inversiones mediante 3 tipos de operaciones: 1) recursos de cartelera, siendo éstos los que resultan más costosos, pero dispuestos a través de diferentes líneas que suelen tener recursos con diferentes plazos y tasas; 2) líneas especiales de redescuento con tasas más bajas (tasas compensadas) en las cuales algún aliado estratégico del gobierno nacional aporta recursos y 3) líneas especiales con aportes provenientes de la banca multilateral. En este último caso, se deben tener en cuenta los lineamientos y condiciones establecidas por los aportantes.

En la actualidad, FINDETER tiene a disposición la línea de crédito “Compromiso Reactivación Multisectorial”. Con esta línea, lanzada al mercado en 2020, se busca apoyar a entidades territoriales y a empresas públicas y privadas en la financiación de proyectos y actividades que promuevan la reactivación económica del país.

Inició con un cupo de \$200,000 millones y recientemente dicho cupo fue ampliado a \$573,000 millones. Constituye una línea de redescuento, es decir, los interesados en acceder a estos recursos deben tramitar una operación de crédito a través de un intermediario financiero (bancos comerciales).

La línea es multisectorial y en consecuencia a través de ella se podrán financiar proyectos en sectores como desarrollo energético (incluidos proyectos de eficiencia energética), medio ambiente, transporte, vivienda y desarrollo urbano, TIC's, salud, educación, agua y saneamiento básico, turismo e industrias creativas y culturales.

Los recursos podrán ser usados para capital de trabajo, sustitución de deuda o inversión y FINDETER ofrece plazos de hasta tres años incluidos 18 meses de período de gracia a capital y una tasa de redescuento de IBR 1M + 1.5% M.V.

urante este año, FINDETER ha puesto en el mercado un total de recursos por \$4.9 billones: \$3.7 billones a través de ocho líneas de crédito que hacen parte de la estrategia del Gobierno Nacional para apoyar a los sectores afectados por el Covid - 19 y \$1.2 billones a través de las líneas de crédito tradicionales de la Entidad.



4. Financiera de Desarrollo Nacional - FDN

La FDN es una corporación financiera especializada en la estructuración y financiación de proyectos de infraestructura, vinculada al Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

Cuenta con la capacidad técnica para movilizar los recursos financieros que se requieren para el desarrollo de la infraestructura en los sectores vial, aéreo, fluvial, marítimo y energético. Adicionalmente, financia inversiones de infraestructura social en sectores como el de la educación y el de la salud. También ofrece productos especializados en asesoría, gerencia y estructuración de proyectos de infraestructura.

Esta organización financia inversiones con un aporte en financiación directa y también a través de la atracción de recursos adicionales provenientes de diferentes actores nacionales o internacionales, en al menos dos esquemas diferenciados:

- Project finance
- Créditos estructurados

El project finance es un modelo a través del cual se realiza financiamiento directo al proyecto teniendo en cuenta su posible flujo de caja y sus activos como fuente de pago. Es decir, los financiadores analizan el perfil del proyecto y no basan su decisión de préstamo en un perfil corporativo. Este esquema suele emplearse en proyectos que requieren grandes inversiones y por lo mismo los créditos son de largo plazo (de 20 a 30 años). Los términos de la deuda se establecen dependiendo de las características específicas de los proyectos y de las condiciones exigidas por las entidades financieras que participan en la operación.

Por otro lado, los créditos estructurados constituyen opciones de financiamiento que se preparan teniendo en cuenta sectores o necesidades específicas, con cupos variables y condiciones financieras particulares. Estas operaciones regularmente son de mediano plazo. La FDN financia preferentemente proyectos de mediana o gran inversión. No obstante, es posible agregar varios proyectos con el propósito de realizar una operación.



5. Empresa Nacional Promotora de Desarrollo Territorial- ENTERRITORIO

La Empresa Nacional Promotora de Desarrollo Territorial - ENTERRITORIO es una empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Departamento Nacional de Planeación (DNP), creada mediante los decretos 495 y 496 de 2019. Su objetivo es acompañar a los municipios y los departamentos de manera integral en la estructuración y ejecución de proyectos estratégicos y de alto impacto en las regiones, relacionados con la construcción de vías, acueductos, alcantarillados, edificaciones y en la realización de proyectos productivos que aporten al cumplimiento de los objetivos trazados en el Plan Nacional de Desarrollo o los planes de desarrollo locales. Lo anterior incluye proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones.

La entidad cuenta con un equipo altamente calificado encargado de llevar a cabo los estudios y diseños técnicos y los análisis jurídico, financiero y de riesgos, que permitan viabilizar cada proyecto.

ENTerritorio ofrece el servicio de estructuración de proyectos a entidades territoriales del orden municipal, departamental o nacional, a través del cual se plantean, dimensionan y analizan las diferentes alternativas para su materialización. En esta etapa se desarrollan estudios técnicos, financieros, legales, ambientales y sociales, entre otros, para obtener una definición y alcance acordes al proyecto y facilitar la promoción ante posibles inversionistas públicos o privados.

Así mismo, ofrece acompañamiento a las entidades con el propósito de realizar gestiones ante diferentes instancias para la ejecución de los proyectos. Lo anterior debido a que regularmente los clientes desconocen todas las actividades que deben adelantar frente a diversos organismos para llevar a feliz término sus propósitos. En este aspecto, es importante señalar que a pesar de que ENTerritorio no financia directamente los proyectos, esta entidad identifica posibles fuentes de financiación y estructura los proyectos para que sean financieramente viables.

De otro lado, también pone a disposición sus fortalezas en experiencia y conocimiento para realizar la gerencia integral de proyectos (planificación y ejecución de las actividades jurídicas, técnicas, financieras, contables y administrativas) propendiendo por un manejo eficiente de los recursos.

Finalmente, se destaca la opción de gestión de proyectos y programas financiados con recursos internacionales provenientes de la banca multilateral y de organismos de cooperación, donación o crédito.

A la fecha, la organización ha apoyado más de 1200 proyectos, con inversiones potenciales que superan los 4.7 billones de pesos. Dentro de las entidades beneficiarias se cuentan el Departamento Nacional de Planeación y los ministerios de Educación, de Transporte y de Vivienda, Ciudad y Territorio.

En el sector de Minas y Energía, ENTerritorio ha financiado particularmente el proyectos que se ejecuta en el marco del contrato interadministrativo suscrito con la Agencia Nacional de Hidrocarburos, relacionado con la perforación del pozo estratigráfico ANH Pailitas 1-X, en la cuenca del valle inferior del Magdalena, en el municipio de Guamal.



6. ASOBANCARIA - Protocolo Verde y Taxonomía Verde

El protocolo verde es una iniciativa creada en 2012 y renovada en 2017 que pretende alinear los esfuerzos del gobierno nacional con los del sector financiero, con el propósito que éste último incorpore e implemente las políticas y prácticas de responsabilidad ambiental en todas sus actividades en armonía con el desarrollo sostenible del país.

Las principales entidades financieras que operan en el país hacen parte de esta iniciativa, incluidas aquellas que ofrecen financiamiento a pequeños inversionistas (sector de microfinanzas). El protocolo consta de 4 ejes temáticos:

- **Productos y servicios verdes:** A través de ellos se pretende generar lineamientos e instrumentos que permitan promover el desarrollo del país con criterios de sostenibilidad.
- **Ecoeficiencia:** Prácticas que procuran promover un consumo sostenible de recursos naturales o de bienes y servicios.
- **Sistema de Administración de Riesgos Ambientales y Sociales (SARAS):** Con este sistema se busca tener en cuenta en los análisis de riesgo de crédito e inversión los impactos y costos ambientales y sociales que se generan en las actividades y proyectos a ser financiados, tanto de carácter público como privado.
- **Reporte y divulgación:** Mediante este eje se desarrollan actividades enfocadas en comunicar e informar a las partes interesadas las políticas y prácticas ambientales a fin de alcanzar una sensibilización en la materia.

En el marco de este proyecto, el sector financiero se ha comprometido con la medición de la huella de carbono de las emisiones directas y las de la cartera, con el propósito de definir el aporte del sector financiero a las metas nacionales de reducción de emisiones. Al respecto se pretende alcanzar cero emisiones directas del sector financiero a 2025 y contar con medición de huella de carbono del 100% de las emisiones financiadas para el mismo año.

El objetivo de esta iniciativa es coordinar las acciones del sector financiero para movilizar recursos de capital para la financiación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Lo anterior con el fin de financiar el cumplimiento del 40% de las contribuciones nacionalmente determinadas - NDC.

Por lo anterior, los sectores identificados como aportantes a las metas de reducción de emisiones como lo son: energías renovables no convencionales, movilidad eléctrica y proyectos de eficiencia energética, se enmarcan dentro de lo que el sector financiero busca financiar en el futuro cercano para la descarbonización de la cartera.

En consonancia con el objetivo de descarbonizar la cartera, la Superintendencia Financiera ha desarrollado una propuesta denominada **“Taxonomía Verde”** que consiste en un sistema de clasificación de actividades económicas y de activos que contribuyen al logro de los objetivos y compromisos ambientales del país.

En ese sentido, la taxonomía permite apoyar a diversos actores públicos y privados tales como instituciones financieras, entidades públicas, inversionistas y emisores de bonos, entre otros, para la identificación y evaluación de inversiones que pueden cumplir con objetivos ambientales y contribuir a los compromisos nacionales o internacionales que tiene el país en esta materia de reducción de emisiones. En síntesis, con esta estrategia se pretende desarrollar los mercados de capitales verdes e impulsar la movilización efectiva de recursos privados y públicos hacia inversiones ambientales.

La Mesa de Taxonomía de la cual hacen parte el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la Superintendencia Financiera (SFC) y el

Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) consolidó la primera fase de la Taxonomía Verde, dentro de la cual se incluyen temas de energía y transporte.

En relación con los temas de energía, hasta el momento se consideraron como financiables proyectos de generación de electricidad con FNCE, almacenamiento de energía y la construcción de distritos térmicos siempre que cumplan con algunos requisitos técnicos.

De igual forma, se incluyen proyectos de construcción sostenible, la taxonomía incluye la construcción de nuevos edificios, renovación de edificios y adquisición y propiedad de edificios siempre que cumplan con los siguientes criterios:

- *“La energía final consumida, en el edificio (kWh/año) debe ser al menos un 10% menos que la definida en la normatividad aplicable para el correspondiente tipo de edificación, según su clima y ubicación (Resolución de construcción sostenible 0549 de 2015).*
- *Para aquellos tipos de edificaciones que por exigencias de la Resolución de Construcción Sostenible deban cumplir con el 30% o más de ahorro de energía, es suficiente con cumplir dichos requerimientos.*
- *Los edificios que no corresponden a la definición de edificación según la Resolución (por su uso o escala) deben demostrar el ahorro obtenido con respecto al consumo de energía de una edificación, según las características constructivas del edificio de referencia definidas en el Anexo 1 de la Resolución.*
- *En Viviendas de Interés Social (VIS) y Viviendas de Interés Popular (VIP) el consumo anual de energía (kWh/m² año) debe tener un 20% de reducción en comparación con la línea base establecida por la Resolución. Si en esta se incluyen ahorros mandatorios, se debe cumplir con un umbral del 10% de reducción con respecto a lo exigido en la norma.”*

Adicionalmente a los criterios se especifica una gran cantidad de medidas aplicables, como por ejemplo, el uso de aislamientos, ventanas energéticamente eficientes, pinturas reflectivas, sistemas HVAC eficientes, iluminación LED, sistemas de fuerza motriz eficientes, Sistemas de Gestión de Edificios (BMS), Sistemas de Gestión de Energía (EMS), medidores inteligentes y estaciones de carga para vehículos eléctricos, entre otros.

Con respecto a los temas de transporte, la taxonomía propone las siguientes actividades:

- Transporte público urbano
- Micromovilidad
- Infraestructura para el transporte
- Transporte interurbano (carga y pasajeros)
- Transporte particular

Los principales criterios propuestos son:

Por tipo de transporte:



Terrestre:

Flota nueva: las emisiones directas son inferiores a 20 gCO₂e/pkm hasta 2025 (a partir de ese año serán elegibles sólo flotas con cero emisiones directas).

Renovación: si la nueva flota tiene factor de emisión menor a 30 gCO₂e/pkm.

Renovación + Desintegración física: si la nueva flota tiene factor de emisión menor a 40 gCO₂e/pkm e incluye la desintegración física del vehículo renovado.



Férreo:

Cuando el material rodante tiene cero emisiones directas.



Fluvial/marítimo:

Embarcaciones con cero emisiones directas son elegibles.

Embarcaciones que utilicen únicamente biocombustibles sostenibles, garantizadas ya sea por diseño tecnológico o monitoreo continuo y verificación de terceros.

Embarcaciones que usen combustibles renovables líquidos y gaseosos de origen no biológico para el transporte.

En línea con lo anterior, la propuesta considera como financiables los vehículos de cero y bajas emisiones (incluidos los asociados a micromovilidad como patinetas, bicicletas y similares) y equipos de infraestructura como estaciones de recarga eléctrica y elementos para la construcción de redes inteligentes.

NAMA Facility

7. NAMA facility

La NAMA Facility⁴⁸ es un fondo internacional integrado por los gobiernos de Alemania, Reino Unido, Dinamarca y la Unión Europea el cual está destinado a apoyar proyectos de desarrollo bajo en carbono (acciones nacionalmente apropiadas de mitigación -NAMA por sus siglas en inglés-), que habiliten el desarrollo y a la apropiación de tecnologías limpias para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

La oportunidad que brinda un fondo como la NAMA Facility es que los vehículos financieros mediante los que se disponen los recursos se pueden diseñar a la medida para sobrepasar las barreras técnicas y económicas locales asociadas con la implementación de proyectos orientados a reducir emisiones. Este fondo ofrece financiación en proyectos con el potencial de contribuir a las metas de reducción de emisiones en las que se comprometió el país a través de la suscripción de la NDC y que tienen barreras de mercado

⁴⁸<https://www.nama-facility.org/>

que limitan su despliegue. Para acceder a estos recursos, NAMA Facility realiza concursos en los que hace llamados a la estructuración de propuestas y diferentes países y sectores compiten por la asignación de dichos recursos.

A nivel nacional, las NAMAs deben estar enmarcadas dentro de la Política Nacional de Cambio Climático y alineadas con la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono ECDDBC. Así mismo, la autoridad ambiental ha elaborado la Guía Técnica Colombiana para NAMAs en la cual estableció los lineamientos nacionales para la estructuración de las diversas iniciativas que se puedan presentar.

En Colombia se viene trabajando en la formulación de diversas propuestas. Particularmente, las que tienen alguna relación con temas energéticos son:

- Refrigeración doméstica en Colombia
- Movilidad eléctrica
- DOT- Desarrollo Orientado al Transporte
- NAMA Transporte de carga
- NAMA Transporte no motorizado
- Industria
- Zonas No Interconectadas
- Eficiencia energética en hoteles
- Alumbrado público
- Energización con fuentes renovables en Zonas No Interconectadas
- Gestión de Residuos Sólidos
- Reconversión productiva y tecnológica del sector panelero

Adicionalmente, existe la intención de formular NAMAS para los temas de medición inteligente (basada en infraestructura de medición avanzada- AMI) y de biogás.

A continuación se mencionan algunos alcances de las propuestas más destacadas:

NAMA de refrigeración doméstica

De acuerdo con los estudios de caracterización energética realizados por la UPME en el sector residencial, la mayor parte de los equipos de refrigeración doméstica en Colombia es energéticamente ineficiente. Dependiendo del piso térmico en el cual se encuentre operando el equipo, el consumo de energía de la nevera puede representar entre el 40% y el 60% del total de la factura. Como se mencionó anteriormente, la sustitución de neveras

podría alcanzar ahorros cercanos al 50%, lo cual resulta relevante si además se tiene en cuenta que el 86% de la población lo componen personas clasificadas en estratos 1, 2 y 3.

A lo anterior se suma que muchos de los equipos en operación contienen refrigerantes con sustancias como hidrocarburos fluorados y clorados que en caso de fugas o malos manejos atentan contra la capa de ozono y contribuyen a incrementar el calentamiento global.

En ese contexto y con el propósito de promover una transformación sostenible del sector de refrigeración doméstica en Colombia, se propuso la ejecución de esta NAMA, la cual recibirá un aporte financiero superior a los 9 millones de euros. Para el efecto, la Unidad Técnica Ozono (UTO) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con apoyo de la GIZ trabaja en los siguientes aspectos:

- Apoyo técnico y financiero a los tres productores nacionales para la introducción al mercado colombiano de neveras amables con el medio ambiente y energéticamente eficientes.
- Establecer un programa de intercambio con el objetivo de reemplazar las neveras viejas por neveras verdes.
- Manejo ambiental adecuado de neveras viejas.
- Asesoría al gobierno sobre las condiciones del marco político (normas mínimas de consumo de energía de las neveras y normas que prohíben la comercialización del refrigerante perjudicial para el medio ambiente HFC).
- Capacitación de técnicos de refrigeración, técnicos de empresas de residuos electrónicos y representantes de autoridades ambientales.

NAMA de Movilidad Eléctrica

Este proyecto compitió con 76 propuestas. Luego de su aprobación, Colombia recibirá recursos cercanos a los 20 millones de euros con el propósito de construir un entorno habilitante para el desarrollo de la movilidad eléctrica en el país.

Con la ejecución de esta iniciativa se espera alcanzar una meta de 600.000 vehículos eléctricos en todo el país en el año 2030, con lo cual, además de obtener beneficios energéticos (la eficiencia de un vehículo eléctrico es aproximadamente el doble de la de un vehículo propulsado a gasolina) se mejorará la salud de los ciudadanos y la calidad de vida en las ciudades. Otros beneficios están representados en oportunidades para promover una demanda de energía eléctrica baja en emisiones y en generar nuevas opciones de negocio alrededor del tema.

Las acciones están encaminadas a facilitar la consolidación de una política pública que tenga en cuenta todos los aspectos necesarios para desarrollar la movilidad eléctrica en Colombia.



8. GLOBAL GREEN GROWTH INSTITUTE (GGGI)

El Global Green Growth Institute (GGGI) es una organización intergubernamental internacional dedicada a apoyar y promover un crecimiento económico fuerte, inclusivo y sostenible en países en desarrollo y economías emergentes.

En ese contexto, GGGI apoya la política de reducción de emisiones de Colombia, la cual está marcada por la contribución nacionalmente determinada - NDC, la política de crecimiento verde y la política de control de la deforestación.

Así, GGGI acompaña al gobierno colombiano en la implementación de acciones que contribuyan a cumplir con sus objetivos climáticos y de desarrollo sostenible para el año 2030. Además, apoyará a Colombia en el despliegue del paquete de medidas para la recuperación económica post-COVID.

Los pilares de financiamiento de esta iniciativa son la economía forestal, el turismo de naturaleza, la bioeconomía y la energía sostenible. El trabajo de GGGI se extiende al apoyo a los territorios de Colombia interactuando con los gobiernos subnacionales y las autoridades ambientales regionales y locales para facilitar la aplicabilidad y sostenibilidad de los resultados que se obtengan producto de la gestión.

Para ello GGGI ha estructurado un portafolio de servicios aplicable a Colombia a través del cual se financian inversiones en las siguientes temáticas:

- Bosques sostenibles
- Agricultura resiliente al clima
- Energía renovable
- Inversión verde
- Bioeconomía

9. Banca de primer piso

Durante los últimos 10 años, en Colombia la banca de primer piso ha desarrollado líneas de financiamiento de inversiones relacionadas con la mitigación del cambio climático y desarrollo sostenible, particularmente en proyectos de eficiencia energética y energías renovables no convencionales.

En dicho periodo se han puesto en el mercado diversas líneas de crédito y esquemas financieros con cupos determinados y temáticas muy específicas. Es así como se han financiado inversiones en temas de cambio tecnológico para el sector industrial, modernización de sistemas de alumbrado público, inversiones en hospitales, clínicas y hoteles y en proyectos de movilidad eléctrica.

Con respecto a las operaciones más recientes, se puede mencionar que en agosto de 2020 uno de los principales bancos nacionales anunció la puesta en el mercado de una

línea de crédito cuyo objetivo es financiar proyectos sostenibles de empresas conformadas 100% por mujeres o cuya propiedad corresponda al menos a 50% de mujeres o cuya representante legal sea una mujer.

Bajo esta modalidad podrán financiarse proyectos relacionados con eficiencia energética, energías renovables, producción más limpia, movilidad y agro sostenible. El crédito contempla una tasa preferencial y plazos desde 7 hasta 15 años, dependiendo del tipo de proyecto. Adicionalmente, puede contar con un periodo de gracia de dos años.

Otro de los bancos representativos en el mercado nacional, puso en marcha una línea de crédito especial con condiciones favorables para la adquisición de vehículos eléctricos, así como para financiar la estación de recarga y la instalación eléctrica domiciliaria en el departamento de Cundinamarca, en alianza con un distribuidor de energía eléctrica.

De acuerdo con lo establecido por la entidad financiera, es posible financiar el 100% del valor del vehículo mediante un crédito a un plazo de hasta 72 meses. Se puede incluir un 10% adicional para cubrir el valor del cargador y de la instalación eléctrica en la vivienda. La entidad financiera ofrece además un seguro que cubre daños a terceros, daños o robo total o parcial del vehículo, pequeños accesorios y servicio de asistencia.

Esta entidad también financia proyectos de eficiencia energética en los sectores industrial y terciario, diferenciando los cánones de acuerdo con las necesidades y flujo de caja de cada empresa y de acuerdo con el tipo de activo a financiar. Adicionalmente, cuenta con el acompañamiento de expertos para facilitar y agilizar los trámites de las compras y ofrece la posibilidad de tener períodos de gracia amplios mientras los proyectos empiezan a generar la eficiencia deseada.

La financiación puede ser sobre el 100% del valor del proyecto, con montos mínimos de financiación de \$50 millones y con plazos entre 3 y 10 años.

Otra entidad financiera lanzó al mercado una línea orientada a financiar proyectos que contribuyan a la reducción de emisiones o mitigación del impacto ambiental y social de los procesos productivos de las empresas. Mediante esta línea se pueden financiar inversiones en energía renovable, eficiencia energética, transporte, tratamiento de residuos y energía sostenible, entre otras.

Las características de la línea de crédito son las siguientes:

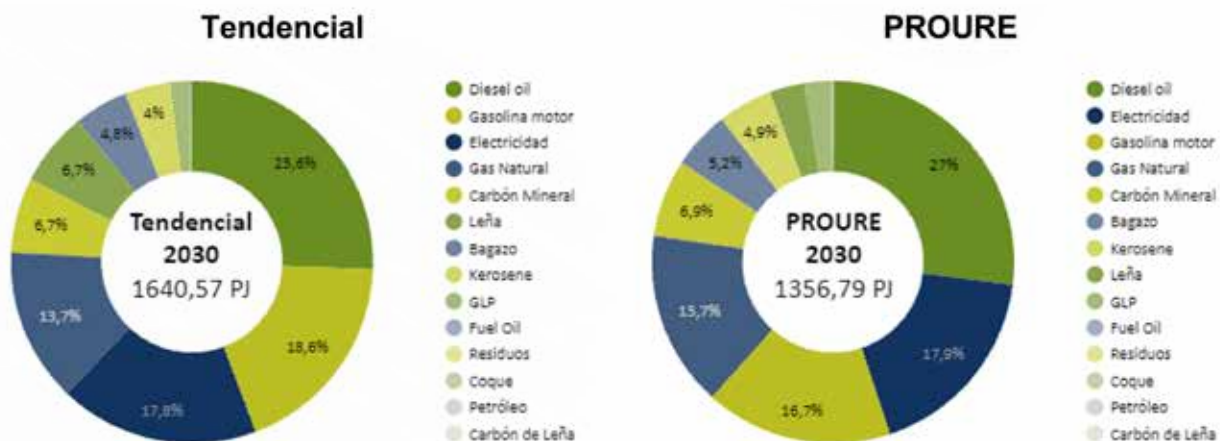
- Monto mínimo: \$10 millones
- Monto máximo: Hasta la capacidad de endeudamiento de la empresa
- Plazo: entre 1 y 10 años
- Tasa de interés: Tasa fija; Tasa variable DTF, IBR O IPC
- Periodo de gracia: entre 3 meses y 3 años

Con la consolidación de la Taxonomía Verde que se mencionó anteriormente, se espera que la banca comercial concentre sus esfuerzos en la financiación de proyectos e iniciativas que mitiguen el cambio climático y por ende, aporten al cumplimiento de las metas de reducción de emisiones el país, por lo que los proyectos de eficiencia energética tienen potenciales oportunidades de financiamiento en el corto y mediano plazo.

Perspectivas a 2030

Gracias al ejercicio de simulación de largo plazo es posible estimar la potencial evolución que tendrían indicadores claves del sector energético como resultado de la implementación de las medidas propuestas en esta versión del PAI PROURE.

Composición de la oferta energética (PJ)



Gráfica 50. Matriz energética de consumo final (energía en PJ)

Con la aplicación de las medidas de PROURE, la composición de la matriz energética de consumo final tendría un cambio significativo. La energía eléctrica pasaría a ser el segundo energético más importante del país frente a lo que se prevé con el escenario tendencial. Este resultado se deriva de la sustitución de combustibles fósiles por energía eléctrica en el sector transporte.

El segundo cambio relevante es en volumen de energía que se requeriría para atender las necesidades del país, comparando el escenario tendencial y el PROURE en el año 2030 se aprecia una reducción de 17.3%. Las medidas que tienen una mayor contribución en este resultado son:

- La reducción del consumo de leña en el sector residencial. (Aprox. 2.5 veces menos que el valor del escenario base)
- Las buenas prácticas operacionales, los cambios tecnológicos y la gestión de energía en los sectores industrial y terciario.
- El ascenso tecnológico en el sector transporte.

Intensidad energética (kJ/COP)

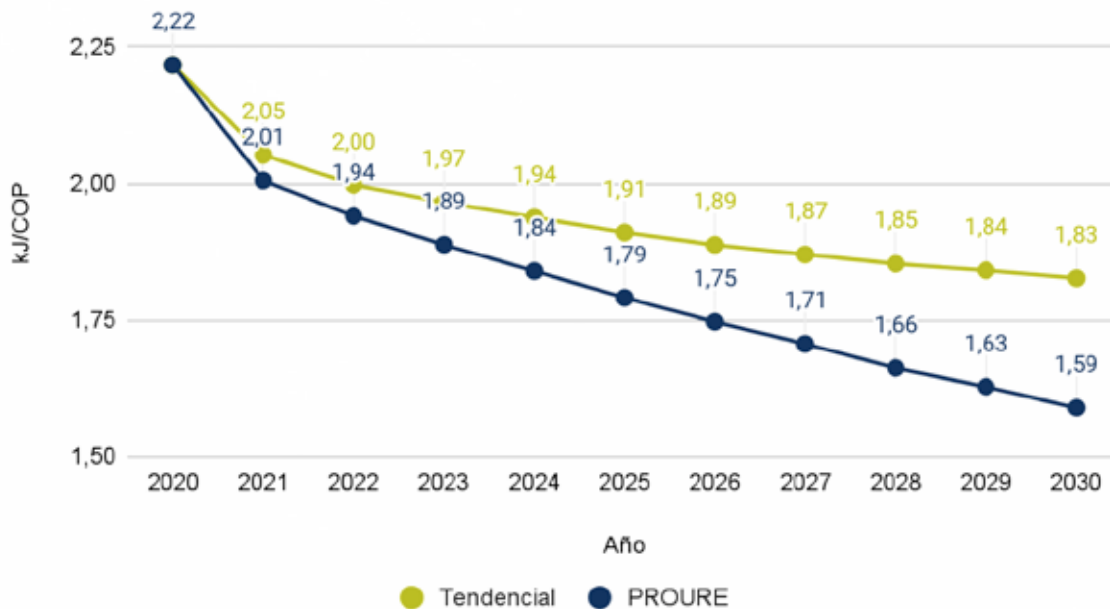
El indicador de intensidad energética es una medida resultante de la relación entre el consumo de energía y el producto interno bruto (PIB)⁴⁹. Este indicador permite analizar los cambios en los patrones del consumo de energía, en respuesta a la implementación de política o por cambios en la estructura económica.

⁴⁹https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-flujos-de-energia/intensidad-energetica/hoja-metodologica-intensidad-energetica.pdf

Por lo anterior, este indicador permite realizar previsiones sobre el impacto energético y ambiental que tendría la implementación de las medidas propuestas en esta versión del PAI-PROURE.

Con los resultados obtenidos se estima que para 2030, la intensidad energética en el escenario tendencial alcance 0.82 veces el valor real de 2020, mientras que en el escenario PROURE alcance 0.72 veces. Esto se traduce en un decrecimiento anual del 1.92% (esc. Base) y 3.27% (esc. PROURE), respectivamente.

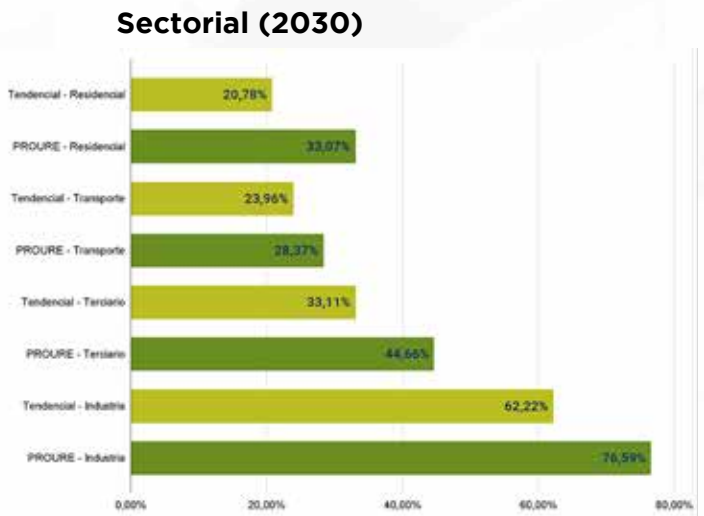
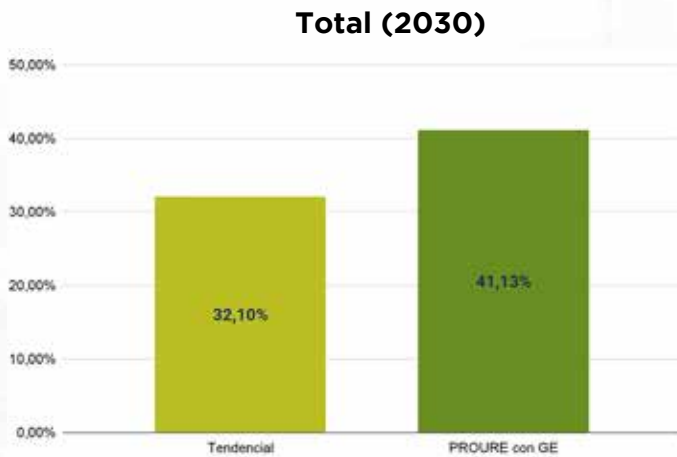
Lo anterior significa que para la generación de 1 millón de COP en valor agregado en 2030, bajo el escenario tendencial se requeriría 1830 MJ que corresponden a 508.3 kWh que si consideramos una tarifa de 600 COP/kWh sería algo cercano a 305 mil COP. Nótese que bajo el escenario del PROURE, la intensidad energética en 2030 sería de 1.59 kJ/COP por lo que la misma situación generaría un costo de 265 mil COP.



Gráfica 51. Indicador de intensidad energética (kJ/COP)

Relación entre energía útil sobre energía final (%)

La relación entre la energía útil sobre la final muestra la eficiencia del consumo de energía. En este sentido, entre mayor sea este indicador, menor es la cantidad de energía que se pierde o se degrada en el momento de su consumo.



Gráfica 52. Porcentaje de energía útil sobre energía final

Gracias a la adopción de nuevas tecnologías y sistemas de gestión de la energía, la eficiencia en el consumo final de energía aumentará de 32% actualmente hasta un 41%. Por tal motivo, disminuirá el consumo de energía final, tal como se puede observar en el análisis de la matriz de consumo.

Adicionalmente, se estima que la eficiencia en el escenario PROURE crezca anualmente de la siguiente manera:

- Residencial: 4.72%
- Terciario: 2.59%
- Industrial: 1.70%
- Transporte: 1.64%
- Terciario: 3.04%
- Industrial: 2.10%

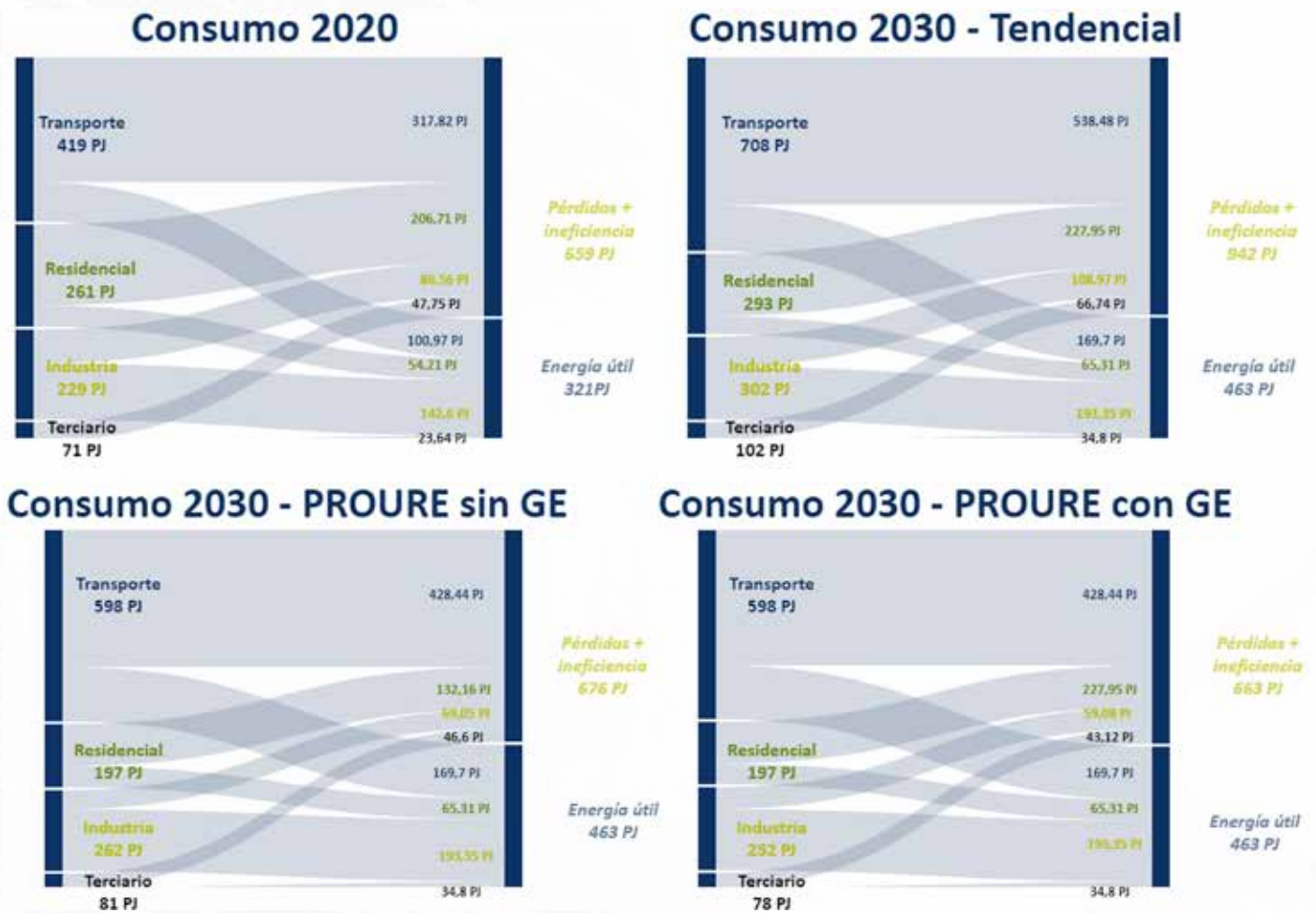
Intensidad de emisiones (kgCO₂/COP)



Gráfica 53. Indicador de intensidad de emisiones (kgCO₂/COP)

Las medidas del PROURE no sólo contribuyen a un consumo energético más eficiente, también aportan a las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Se espera que el indicador de intensidad de emisiones disminuya de 81 kgCO₂/COP hasta 60 kgCO₂/COP. Aunque con la línea base también se presenta una reducción en el indicador, la aplicación de las medidas del PROURE contribuyen en una disminución adicional del 14%

Se estima que para 2030, la intensidad en emisiones en el escenario base alcance 0.85 veces el valor real de 2020, mientras que en el escenario PROURE alcance tan solo 0.74 veces. Esto se traduce en un decrecimiento anual del 1.60% (esc. tendencial) y 2.93% (esc. PROURE), respectivamente.



Gráfica 54. Sankey consumo de energía útil/final (energía en PJ)

Por último, en los diagramas de sankey del uso de energía por sectores, se aprecia como la aplicación de medidas en el PROURE aumentan la magnitud de la franja de energía útil para todos los sectores analizados, resaltando especialmente el transporte y el residencial.

Conclusiones

La apuesta del PROURE es incentivar la transformación del sector energético con el fin último de que Colombia se desarrolle de forma sostenible. Este documento no se concibe en el vacío, por el contrario, responde a la necesidad de identificar posibilidades que le permitan al país avanzar en la construcción de una sociedad en la que se equilibre el crecimiento económico, el ascenso social y la protección del medio ambiente.

La eficiencia energética es un recurso valioso que aporta a los objetivos de desarrollo sostenible. Las medidas propuestas con relación a buenas prácticas, cambio tecnológico, sustitución de combustibles fósiles y demás, apuntan a que la energía sea asequible y no contaminante, a que las ciudades y comunidades sean sostenibles, a motivar una producción y consumo responsables y a contribuir en la mitigación del cambio climático.

De igual forma, las medidas del PAI-PROURE se enmarcan dentro de los 3 grandes objetivos de la política energética. Optimizar el consumo de energía coadyuva al abastecimiento seguro y confiable ya que se requieren menos recursos para producir un mismo nivel de bienes y servicios y para garantizar un mismo nivel de bienestar a los ciudadanos. De igual forma, permite reducir la participación del costo energético en el ingreso de los consumidores finales y por último, aporta a la mitigación del cambio climático.

La intervención del Estado en la promoción de eficiencia energética debe ser eficiente. Por esta razón, en el PAI-PROURE se identifican las medidas que tienen potencial para desarrollarse en el corto y mediano plazo, que sean costo-eficientes desde la perspectiva privada. También, se identifican cuáles son deseables desde el punto de vista colectivo pero que enfrentan barreras e imperfecciones del mercado que podrían subsanarse con incentivos tributarios.

El potencial de la eficiencia energética en el periodo 2022-2030 para Colombia es de 10%. Este potencial representa una reducción de consumo de 1.688 PJ a lo largo del periodo analizado. Los sectores que mayores aportes pueden hacer para materializar este potencial son el transporte, industria y residencial.

La propuesta de las medidas del PROURE contribuye al 22% de la reducción de emisiones en Colombia en 2030. La optimización en el consumo energético en todos los sectores y la sustitución de combustibles fósiles por energía eléctrica en el sector transporte son estrategias de alto impacto en la consecución de los compromisos de reducción de emisiones que se ha trazado el país.

La modernización de la flota vehicular tiene el potencial de transformar el futuro energético del país. El sector transporte tiene un impacto notable en las necesidades de abastecimiento energético del país, así como el potencial de cambiar la forma en cómo se vive en las ciudades, en la competitividad de Colombia y sus metas de reducción de emisiones en el largo plazo.

El sector de la oferta energética puede contribuir a la eficiencia energética del país. Si bien los sectores de producción de energéticos no son grandes consumidores de energía, la producción de hidrocarburos, la generación termoeléctrica y la minería corresponden al 0.38% del 10% de ahorro acumulado. En estos sectores, la adopción de buenas prácticas operacionales bajo la norma NTC ISO 50001 es una victoria temprana en materia eficiencia energética del país.

El costo del recambio tecnológico en la industria y el sector terciario son la mayor barrera de eficiencia energética a superar. Las inversiones en recambios de equipos para la producción de calor directo e indirecto resultan en general superiores a los costos evitados en energéticos, mantenimientos y otros. Los beneficios tributarios son un primer paso para superar esta barrera, pero probablemente se requieran otras medidas complementarias que empujen la transformación del sector productivo.

El precio al carbono, las señales tarifarias y tributarias son elementos fundamentales para motivar el cambio. El costo de las nuevas tecnologías limita su adopción en el corto plazo, por ello, es fundamental que los incentivos tributarios que ya tienen los proyectos de eficiencia energética se complementen con otras señales económicas y taxativas que internalicen las externalidades negativas del uso de combustibles fósiles. La transformación energética requiere del establecimiento de un precio al carbono con ello la creación de un mercado líquido y transparente que facilite el financiamiento de esta apuesta de país.

Bibliografía

ACP (2021). Informe de desempeño ambiental 2016 - 2019. Disponible en: <https://acp.com.co/web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Agencia Internacional de Energía IEA (2019). World Energy Outlook. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

Agencia Internacional de Energía IEA (2020). Energy Efficiency 2020. Disponible en: https://iea.blob.core.windows.net/assets/59268647-0b70-4e7b-9f78-269e5ee93f26/Energy_Efficiency_2020.pdf

Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., Chen, H. (2021). “Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities”. Journal of Cleaner Production. Volume 289. 20 March 2021. Article number 125834. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621000548> (Consulta: marzo de 2021)

Antonopoulos, I., Robu, V., Couraud, B., Kirli, D., Norbu, S., Kiprakis, A., Flynn, D., Elizondo-Gonzalez, S., Wattam, S. (2020). “Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 130, September 2020, Article number 109899. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212030191X> (Consulta: marzo 2021)

Asian Development Bank. (2018). Handbook On Battery Energy Storage System. Philippines.

Astriani, Y., Shafiullah, GM., Shahnia, F. (2021). “Incentive determination of a demand response program for microgrids”. Applied Energy. ISSN 0306-2619. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921001598> (Consulta: marzo de 2021)

Brosinsky, C., Westermann, D., Krebs, R. (2018). “Recent and prospective developments in power system control centers: Adapting the digital twin technology for application in power system control centers”. 2018 IEEE International Energy Conference. ENERGY-CON 2018. 27 June 2018. pp. 1-6. En línea: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8398846> (Consulta: marzo de 2021)

DOE. (U.S. Department of Energy). (2006). “Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them: A Report to United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy act of 2005”. U.S. Department of Energy, DOE. Washington D.C., 2006. En línea: https://www.energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_Benefits_of_Demand_Response_in_Electricity_Markets_and_Recommendations_for_Achieving_Them_Report_to_Congress.pdf (Consulta: Marzo de 2021)

E2 Energía Eficiente (2020). Caracterización y determinación del potencial de mejora de eficiencia energética en operaciones de las termoeléctricas, teniendo en cuenta un análisis de costo - efectividad, a través de la construcción de los estudios de impacto económico de las mejoras de eficiencia energética identificadas.

EUROBAT. (2020). Battery Energy Storage in the EU.
GIZ, Como / Consult. (2021). Estrategia de desarrollo bajo en carbono, análisis de riesgo climático, y portafolio de medidas de adaptación para los subsectores mineros de ferrocarril y materiales de construcción.

Gopstein, A. , Nguyen, C. , O’Fallon, C. , Hastings, N. and Wollman, D. (2021). NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 4.0, Special Publication (NIST SP), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, [online], <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r4>

IRENA (2018a). “Reaching zero with renewables: Eliminating CO2 emissions from industry and transport in line with the 1.5oC climate goal” Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Reaching-Zero-with-Renewables>

IRENA (2018b). “Hydrogen from renewable power technology outlook for the energy transition”. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2018/Sep/Hydrogen-from-renewable-power>.

Martínez, J., & Domínguez, M. (2019). Sistemas de almacenamiento mediante baterías electroquímicas. Contribución a la integración de energías renovables. Universidad Carlos III de Madrid.

Ministerio de Energía de Chile / Agencia de Sostenibilidad Energética (2021). Programa Eficiencia Energética en la Minería. Disponible en: <https://www.4echile.cl/proyectos/ee-mineria/>

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS (2015). “Lineamientos para un programa de estufas eficientes para la cocción de leña”.

Ministerio de Minas y Energía MME (2020), “Propuesta de senda de cumplimiento de las medidas obligatorias, hoja de ruta en lineamientos de política pública y regulación y recomendaciones para su implementación”. CONCURSO DE MÉRITOS No. 07 de 2020.

Moura P, Lopez G, et al (2013). The role of Smart Grids to foster energy efficiency. Energy Efficiency, 6, 621-639.

National Efficiency Screening Project NESP (2017). “National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources”. Disponible en <https://www.nationalenergyscreeningproject.org/national-standard-practice-manual/>.

The National Efficiency Screening Project NESP (2017). “National Standard Practice Manual for Assessing Cost-Effectiveness of Energy Efficiency Resources”. Disponible en <https://www.nationalenergyscreeningproject.org/national-standard-practice-manual/>.

National Institute of Standards and Technology NIST. (2014). “Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability”. U.S. Department of Commerce. En línea: <https://www.nist.gov/el/smart-grid/smart-grid-framework/framework-and-road-map-smart-grid-interoperability> (Consulta: marzo de 2021)

O’Reilly, C.A., Tushman, M.L. (2013). “Organizational ambidexterity: past, present, and future”. *Academy of Management Perspectives*. Volume 27. Issue 4. November 2013. pp. 324-338. En línea: <https://www.jstor.org/stable/43822033?seq=1> (Consulta: marzo de 2021)

Rocky Mountain Institute. (2015). *The Economics of Battery Energy Storage*. Washington, D.C.

Sandia National Laboratories. (2015). *DOE/EPRI Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA*.

Smart Energy Demand Coalition SEDC. (2017). “Explicit Demand Response in Europe—Mapping the Markets 2017”. En línea: <http://www.smarten.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDC-Explicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-the-Markets-2017.pdf> (Consulta: marzo de 2021)

UPME (2016). *Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia*. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Smart%20Grids%20Colombia%20Visi%C3%B3n%202030/1_Parte1_Proyecto_BID_Smart_Grids.pdf

UPME (2019a). “Estimación de los consumos de subsistencia en energía eléctrica, gas natural y GLP en territorio nacional SIN y ZNI”.

UPME (2019b). “Estudio para formular un programa actualizado de sustitución progresiva de leña como energético en el sector residencial en Colombia.” Disponible en: https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/Plan_sustitucion_progresiva_Lena.pdf

UPME(2019c). “Diseñar una metodología y un modelo matemático para estimar el consumo de leña que realizan los hogares rurales en el país con el fin de utilizar esta información para compilación del Balance Energético Colombiano y para ser utilizada para monitorear y realizar política económica energética”

UPME (2020a). *Plan Energético Nacional 2020-2050*. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf.

UPME (2020b). “Clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional”. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_final_Ascenso_tecnologico.pdf

UPME (2020c). “Estudio de caracterización energética del sector de transporte de carga”. Disponible en https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_final_caracterizacion_transporte.pdf

UPME (2020d). “Plan de Abastecimiento de Gas Natural 2020”. Disponible en <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Hidrocarburos.aspx>

UPME (2020d) REFERENCIAR ESTUDIO UIS

UPME (2018). “Primer balance de energía útil para Colombia y cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética”. Disponible en: <https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Paginas/estudio-primer-balance-energia-util-para-Colombia.aspx>

UPME (2014). “Evaluación costo efectividad de programas de eficiencia energética en los sectores residencial, terciario e industrial” . Disponible en: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1007/1/Informe%20Final%20-%20Costo%20Efectividad%20Medidas%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20UPME%20010-2014.pdf>.

U.S. Department of Energy . (2020). Energy Storage Grand Challenge: Energy Storage Market Report.

U.S. Department of Energy. (2020). Battery Storage in the United States: An Update on Market Trends. Washington D.C.

Valora Analitik. (20 de Abril de 2021). Enel Colombia inaugura sistema de baterías de almacenamiento a gran escala. Obtenido de <https://www.valoraanalitik.com/2021/04/20/enel-colombia-sistema-baterias-almacenamiento-gran-escala/>

vi, R., Gharipour, A., Fleury, M., Akpan, I.J. (2019). “A practical feature-engineering framework for electricity theft detection in smart grids”. Applied Energy. Volume 238. 15 March 2019. pp. 481-494. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919300753> (Consulta: marzo de 2021)

Wood Mackenzie. (2021). The Edge: Future energy - how EVs transform battery demand.

Wood Mackenzie (2020a). “2020 Hydrogen Landscape. What the last decade tells us about the future” .

Wood Mackenzie (2020b). “2050: The Hydrogen Possibility: A view of the next three decades”.

Wood Mackenzie (2021). “ New technology series”.

Zhang, Y. T., Claudel, C. G., Hu, M. B., Yu, Y. H., & Shi, C. L. (2020). Develop of a fuel consumption model for hybrid vehicles. Energy Conversion and Management, 207(112546).

Anexo 1. Proyección de ventas por categoría y energético utilizados en el escenario PAI-PROURE

Ventas por categoría y energético

Automóviles y Camperos

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolina	271.143	263.006	251.200	231.435	207.089	184.386	179.440	177.581	177.845	179.437	180.750
Electricos	824	11.255	20.338	33.465	48.951	63.694	75.586	84.494	91.292	96.922	102.995
Híbrido	2.747	6.692	15.775	28.902	44.388	59.131	59.131	59.131	59.131	59.131	59.131
Total	274.714	280.952	287.313	293.802	300.428	307.211	314.157	321.206	328.268	335.490	342.876

Taxis

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolina	19.882	19.435	18.209	17.781	17.100	15.914	15.576	14.738	14.336	12.416	11.416
Eléctricos	101	1.034	2.117	2.602	3.331	4.547	5.812	7.131	8.505	11.175	12.684
Híbrido	202	207	847	1.301	1.777	2.273	1.860	1.902	1.458	1.242	1.268
Total	20.185	20.675	21.174	21.685	22.208	22.735	23.247	23.772	24.299	24.833	25.368

Camionetas

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolina	68.571	75.502	76.525	77.218	77.433	76.971	75.590	73.049	69.125	63.698	61.718
Diesel	29.535	22.614	22.359	21.744	20.618	18.784	19.398	20.026	20.666	21.316	21.981
Eléctricos	49	1.711	2.527	3.717	5.433	7.871	11.263	15.861	21.880	29.435	33.593
Híbrido	295	967	1.783	2.973	4.689	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127
Total	98.450	100.794	103.194	105.652	108.173	110.753	113.378	116.063	118.798	121.576	124.419

Microbuses

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diesel	5270	5202	4666	4442	4413	3591	3239	3320	3171	3168	3241
GNV	539	650	867	1093	1191	1436	1325	1207	1083	950	810
Eléctrico	533	650	1133	1298	1401	2154	2797	3018	3480	3801	4052
Total	6342	6502	6666	6833	7005	7181	7361	7546	7734	7919	8103

Buses

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diesel	4004	3935	3514	3331	3295	2670	2616	2725	2611	2490	2364
GNV	410	492	653	820	889	1068	981	890	795	695	591
Eléctrico	405	492	853	974	1046	1602	1853	1947	2270	2606	2955
Total	4818	4918	5020	5124	5231	5339	5450	5562	5675	5792	5911

Camiones

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diesel	15546	15816	15680	15864	16049	16059	16061	16238	16039	16205	16370
GNV	78	160	490	501	512	698	892	912	1305	1335	1364
Eléctrico	-	-	163	334	512	698	892	1095	1305	1525	1754
Total	15624	15976	16333	16699	17073	17456	17846	18245	18650	19065	19488

Ventas por categoría y energético Automóviles y Camperos

Tractocamión

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diesel	8898	9027	9019	9096	9274	9408	9488	9671	9755	9712	9683
GNV	-	91	280	388	397	455	569	583	700	717	973
Eléctrico	-	-	44	91	140	191	244	301	359	421	485
Total	8898	9118	9344	9575	9812	10054	10302	10555	10815	11080	11351

Motos

Energético	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolina	624429	505037	491434	476820	461167	444406	426507	407439	387118	365532	342625
Eléctrico	61757	198663	229907	262587	296760	332461	369751	408697	449317	491699	535900
Total	686186	703701	721341	739406	757928	776867	796258	816136	836435	857231	878525