

Resumen Ejecutivo **Plan Energético Nacional (PEN) 2022 - 2052**

Subdirección de Demanda

Ministro de Minas y Energía

Andrés Camacho Morales

Director General UPME

Carlos Adrián Correa Flórez

Subdirectores - UPME

José Lenin Morillo – Subdirección de Demanda

Javier Martínez - Subdirección de Energía Eléctrica

Mauricio Palma - Subdirección de Hidrocarburos

Tatiana Araque - Subdirección de Minería

Colaboradores UPME

Aida Amaris de Arco

Fernando Andrade

Olga González González

William Alberto Martínez

Diana Montaña Silva

Ingrid Gissella Quiroga

Cristian David Rodríguez

Asesores externos

Sofía Delgado Ramos

Erika Flórez Chala

David Andrés Serrato

Equipo de comunicaciones UPME

Linda Cárdenas

Diagramación y diseño:

María Fernanda Corredor

Diego Peñaranda

República de Colombia Ministerio de Minas y Energía
Bogotá D.C. - Colombia, marzo de 2024

Contenido

1. Introducción	4
2. Estructura.....	4
3. Escenarios prospectivos de oferta y demanda	6
4. Resultados energéticos	7
5. Resultados ambientales	9
6. Resultados económicos	10
7. Mensajes finales	13

1. Introducción

El PEN 2022-2052 es un ejercicio prospectivo de largo plazo que tiene como propósito identificar las alternativas tecnológicas en producción y consumo de energía y evaluar sus impactos en el abastecimiento, la competitividad, la sostenibilidad, las finanzas públicas y la economía del país. Con base en lo anterior, este documento indicativo explora y aborda la incertidumbre, comprende las implicaciones de las decisiones actuales, propone soluciones, reconoce los riesgos y las oportunidades, y establece nuevas agendas para el sector energético.

El proceso de planeación a largo plazo realizado para el PEN 2022-2052 identifica un amplio abanico de tecnologías y opciones de aprovechamiento de recursos, que estén en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los principios de la Transición Energética Justa – TEJ. Para obtener beneficios de la implementación de estas alternativas es fundamental formular políticas públicas y diseñar mecanismos financieros que faciliten la ejecución de las inversiones propuestas.

Este documento pretende dar continuidad a las metas del PEN 2020-2050, cuyos indicadores de seguimiento revelan que el sector energético ha experimentado avances tendenciales acercándose al escenario *Actualización* de ese plan. Estos avances reflejan los esfuerzos realizados hasta ahora, así como la necesidad de un mayor compromiso y esfuerzo para lograr la transición energética. Debido a lo anterior, para esta versión se conformó un escenario energético adicional llamado *Transición Energética* el cual se suma a *Actualización*, *Modernización*, *Inflexión*, *Innovación* (previamente conocido como *Disrupción*). Estos escenarios agrupan iniciativas y supuestos de acuerdo con el nivel de ambición y las prospectivas de transformación del sector minero-energético y para cada uno de ellos es posible realizar un análisis energético, ambiental y económico.

2. Estructura

El objetivo principal de la transición energética es reducir la dependencia de fuentes de energía altamente contaminantes y lograr una matriz energética descarbonizada. Lo anterior implica cambios disruptivos para la forma en que se consume y produce energía, así como en las prioridades sociales y económicas del país. Sin embargo, promover una visión holística genera impactos positivos en distintos ámbitos y para llegar a experimentarlos se vuelve fundamental la comprensión de los recursos e infraestructuras existentes, al igual que de las costumbres asociadas a la utilización de la energía en el contexto colombiano.

De esta forma, se proporciona una matriz de entorno que analiza el contexto nacional considerando factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales. Además, se describe la situación actual desde la perspectiva de la oferta y la demanda energética, la competitividad de los diversos tipos de energía en los distintos sectores, mediante un análisis parcial de los precios relativos y se plantea el objetivo final y la forma

como el sector energético puede contribuir a habilitar esa visión a largo plazo de desarrollo.

Con base en la revisión hecha se plantea una visión aspiracional para el sector energético colombiano cuyo objetivo es habilitar el desarrollo sostenible a través de la transformación del sector energético. Para lograr esta meta el PEN 2022-2052 mantiene los pilares y los objetivos propuestos en la versión anterior, ya que se trata de un proceso de actualización, sin embargo, renueva las visiones presentadas para el nuevo horizonte temporal.

Tabla 1. Tablero de control de objetivos e indicadores del PEN 2022-2052

Pilar	Objetivo	Indicador de seguimiento	Línea base 2021	Visión 2052
Pilar 1. Seguridad y confiabilidad del abastecimiento	Permitir el acceso a soluciones energéticas confiables, con estándares de calidad y asequibles.	Índice de Equidad Energética del World Energy Council	Calificación: C Ranking: 73	Calificación: A
	Diversificar la matriz energética.	Participación FNCE en la producción primaria de energía	1,4%	7 %- 30 %
Pilar 2. Adaptación y mitigación del cambio climático	Contar con un sistema energético resiliente.	Índices de calidad de prestación del servicio de energía eléctrica	SAIDI: 29,6 h-año SAIFI: 38,2 veces al año.	SAIDI: 2-4 h -año SAIFI: 2-4 veces al año
	Propender por un sistema energético de bajas emisiones de GEI.	Emisiones de CO2 asociadas al consumo de energía	63.143 Gg CO2eq-año	29.793 - 100.600 Gg CO2eq-año
Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico	Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos.	Porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final	48,85%	61,78% - 75,48%
		Intensidad energética	1,41 kJ/COP	0,61 -0,90 kJ/COP
	Promover un entorno de mercado competitivo y la transición hacia una economía circular.	Promedio anual de la contribución del IPC de energía sobre el IPC total	7,2%	7,8%
		Consumo per-cápita de leña en el sector residencial	93,39 ton/mil habitantes	0,41-38,40 ton/mil habitantes
Pilar 4. Conocimiento e innovación	Avanzar en la digitalización y uso de datos en el sector energético.	Porcentaje de usuarios con medidor inteligente	3%	90%-100% de los usuarios
	Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano	Número de grupos de investigación del Programa Nacional de Energía y Minería	110	130
		Inversión en ACTI como porcentaje del PIB	1%	3,5%

3. Escenarios prospectivos de oferta y demanda

Los escenarios energéticos son conjuntos de eventos que describen situaciones futuras basadas en la realidad actual. Estos escenarios proporcionan una forma sencilla y analítica de describir posibles desarrollos del sistema energético del país en el futuro. Son una herramienta útil para analizar los efectos de ciertos supuestos en el sector, discutir el impacto potencial de decisiones específicas, y orientar la toma de decisiones tanto en el sector público como en el privado.

Para su construcción se realizó un mapeo tecnológico y se clasificó cada iniciativa con base en tres criterios fundamentales: La incertidumbre tecnológica, el potencial de mitigación del cambio climático y los desafíos de transformación. Dentro de este mapeo se tuvieron en cuenta distintas claves dentro de cada uno de los energéticos considerados, como el gas natural, los combustibles líquidos y la energía eléctrica, de esta forma se consolidó un amplio portafolio que va desde la mejora en la calidad del diésel hasta el almacenamiento para hidrógeno líquido.

Adicionalmente, para el abastecimiento se hizo uso de los volúmenes de hidrocarburos según la disponibilidad de reservas, recursos contingentes y recursos prospectivos, y en lo referente a energía eléctrica se adoptaron las capacidades adicionadas y aprobadas dentro del Análisis Energético de Largo Plazo MPODE y el Modelo de la Asignación de Capacidad de Conexión como certeras.

- **Actualización:** Colombia se encuentra alineada con las tendencias mundiales y ha realizado avances significativos en la actualización de tecnologías de producción, transporte y uso de energía. El país ha adoptado medidas progresivas para diversificar su matriz energética, mitigar el cambio climático y promover el uso eficiente de la energía.
- **Modernización:** Colombia se moderniza a través de la adopción de tecnologías y energéticos con un menor impacto ambiental. El país busca gasificar aquellos usos en los que sea conveniente, aprovechando los recursos nacionales disponibles, y promoviendo avances en eficiencia energética y electrificación.
- **Inflexión:** Colombia experimenta un cambio significativo en la tendencia histórica de consumo de combustibles fósiles, gracias a una inversión masiva y acelerada en nuevas tecnologías que hacen posible masificar el uso de energía eléctrica.
- **Innovación:** Colombia ha realizado inversiones significativas en nuevas tecnologías, a pesar encontrarse en etapas tempranas de desarrollo, con el fin de impulsar la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible.
- **Transición Energética:** Colombia acelera el proceso de transformación de su sistema energético en su producción, consumo y participación. Se apuesta por nuevas tecnologías y fuentes de energía con un nivel de madurez avanzado, junto con nuevos esquemas de mercado que garantizan seguridad energética,

competitividad y protección ambiental. Este escenario se configura como un túnel de decisiones, con dos límites determinantes: el inferior, que parte del escenario de Innovación, y el superior, que representa la máxima ambición alineada con la Transición Energética Justa (TEJ).

4. Resultados energéticos

Al analizar las características y restricciones específicas de cada escenario, los resultados energéticos revelan una tendencia significativa al crecimiento en el consumo de energía, con incrementos que oscilan entre el 29% y el 45%, dependiendo del escenario considerado. Estos hallazgos están estrechamente alineados con las proyecciones de crecimiento tanto de la población como de la economía a nivel nacional. Es importante destacar que el escenario de Actualización muestra el mayor aumento en el consumo, con un notorio incremento del 49% en comparación con el año base de 2022. Le siguen de cerca los escenarios de Modernización e Inflexión, con aumentos del 40% y 29% respectivamente, mientras que el escenario de Innovación y el Túnel de Transición Energética muestran un crecimiento más moderado.

Estas disparidades en los niveles de consumo se pueden atribuir a varios factores, incluyendo el grado de innovación incorporado en cada escenario en términos de la adopción de nuevas tecnologías y medidas de eficiencia energética. Además, el crecimiento orgánico de la población y la economía nacional también desempeña un papel crucial en la dirección y magnitud de estos cambios. Esta diversidad de resultados subraya la importancia de considerar una amplia cantidad de variables y estrategias al planificar futuras políticas energéticas y de desarrollo.

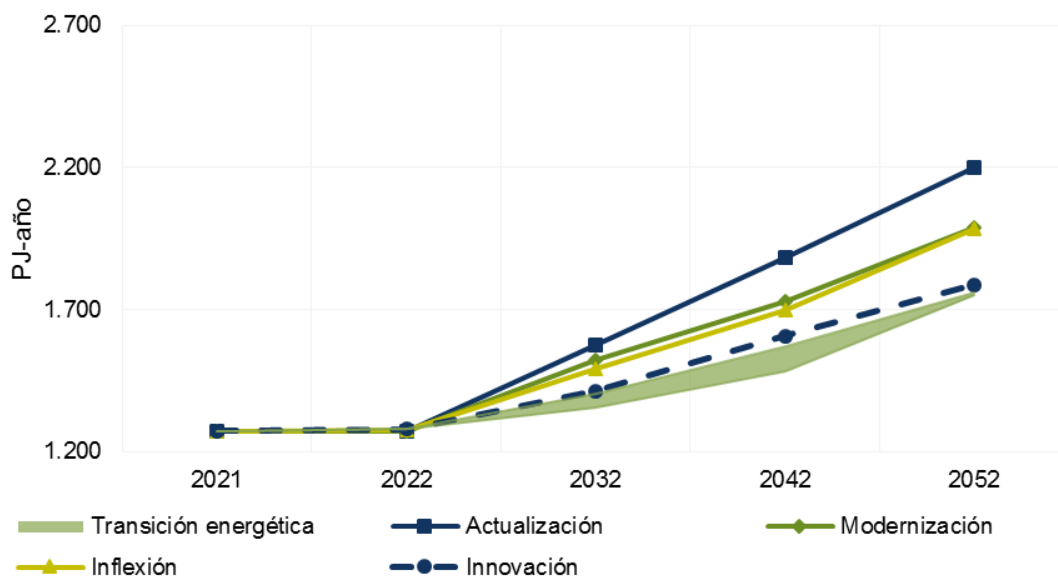


Ilustración 1. Consumo total de energía por escenario.

Además, las estrategias para reducir las emisiones por unidad de energía se reflejan claramente en la composición de la canasta energética. Se observa un marcado interés en disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, con una notable disminución en su participación. En el escenario de Actualización, representaban el 58%, mientras que en el de Modernización disminuyen al 55%. Esta tendencia se acentúa aún más en los escenarios de Inflexión y de Innovación, donde su participación desciende a un 31% y un 22% respectivamente. En los escenarios de Transición Energética, esta dependencia se reduce a menos del 20%, evidenciando un cambio significativo en las políticas energéticas.

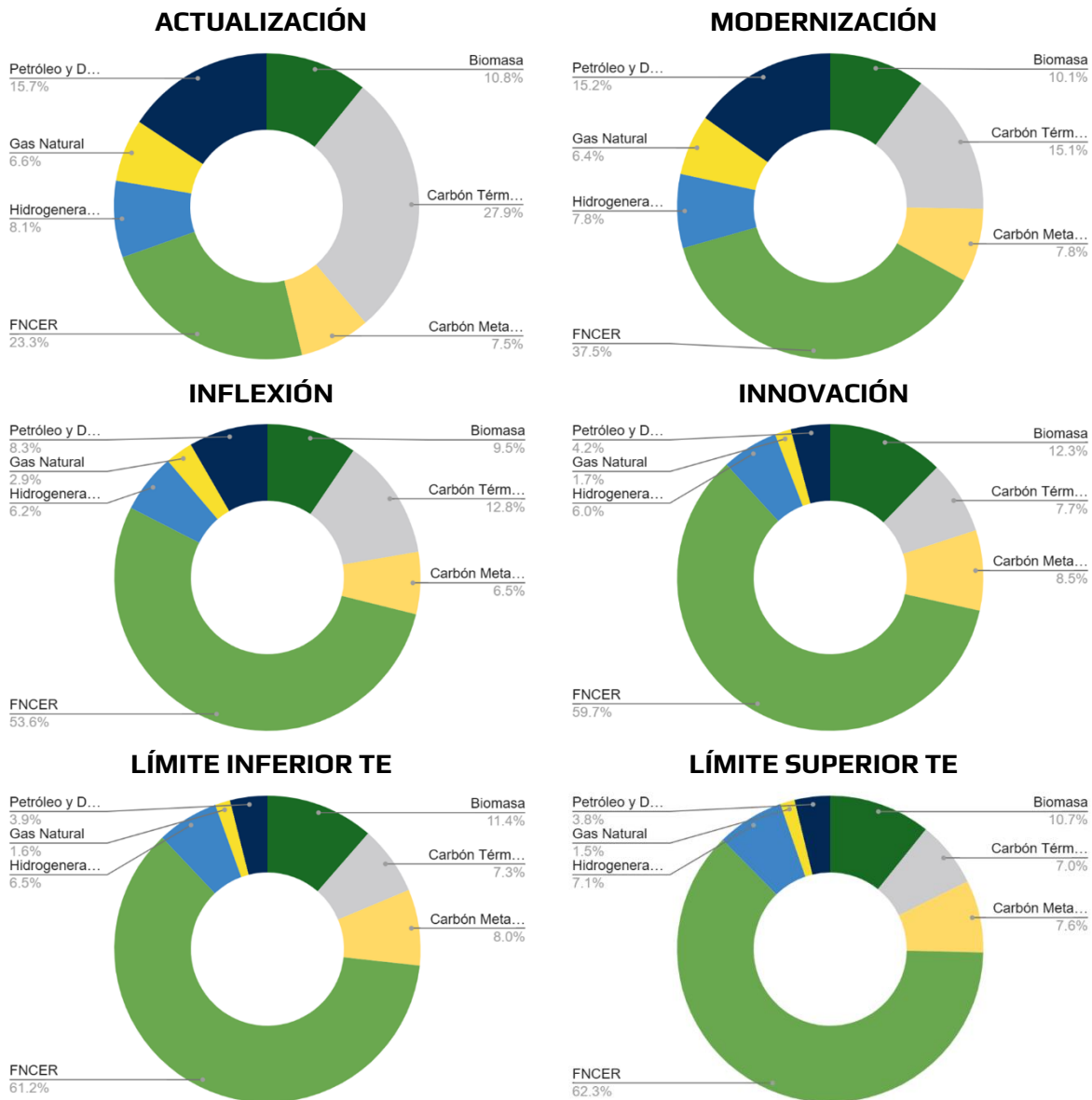


Ilustración 2. Canasta energética primaria para el año 2052.

A la par, se observa un crecimiento sustancial en la participación de fuentes renovables en la canasta energética. Las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) juegan un papel cada vez más protagónico, pasando de representar el 23% en el escenario de Actualización a un 38% en el de Modernización, y alcanzando cifras aún más elevadas en los escenarios de Inflexión, Innovación y Transición Energética, donde su participación llega al 53%, 60% y 63% respectivamente. Este último escenario, el Túnel de Transición Energética, se destaca por acopiar las apuestas más ambiciosas en términos energéticos, evidenciando un enfoque decidido hacia la sostenibilidad y la reducción de emisiones.

5. Resultados ambientales

Los resultados de la modelación revelan que las emisiones de CO₂_{eq} asociadas al consumo de energía muestran una tendencia creciente, la cual es inversamente proporcional a las estrategias implementadas como base para cada uno de los escenarios, reflejando una estrecha relación con el crecimiento de la demanda energética.

Para el año 2052, las emisiones en el escenario de Actualización alcanzan las 92 Mt CO₂_{eq}/año, seguidas por el escenario de Modernización con 90 Mt CO₂_{eq} /año. En el escenario de Inflexión, las emisiones se reducen a 70 Mt CO₂_{eq} /año, y en el escenario de Innovación disminuyen aún más, llegando a 58 Mt CO₂_{eq}/año. Por último, en el Túnel de Transición Energética, se registra un rango de emisiones entre 30 y 45 Mt CO₂_{eq}/año, siendo estos últimos los únicos que se sitúan por debajo de las emisiones históricas del año base 2022.

Estos hallazgos subrayan la efectividad de las políticas y tecnologías orientadas hacia la reducción de emisiones, así como la importancia de priorizar estrategias que fomenten la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

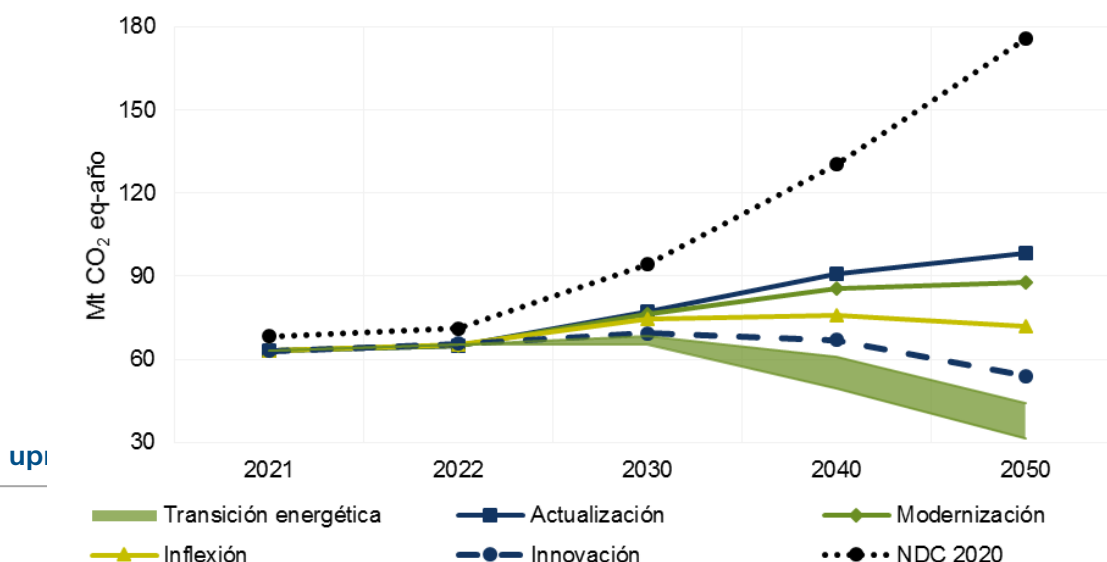


Ilustración 3. Emisiones anuales por escenario.

Estos resultados están fuertemente influenciados por el volumen de emisiones por unidad de energía, lo que refleja el impacto de las medidas relacionadas con la sustitución tecnológica y el tipo de energéticos utilizados. Lo anterior es el resultado directo de las medidas de eficiencia energética adoptadas para cada escenario.

En este sentido, el Túnel de Transición Energética recoge las apuestas más ambiciosas, representando un rango de emisiones entre 20 y 25 toneladas de CO_{2eq} por TJ consumido. Le sigue el escenario de Innovación, con 30 toneladas de CO_{2eq} por TJ consumido, seguido por el escenario de Inflexión, con 35 toneladas de CO_{2eq} por TJ consumido. Finalmente, los escenarios de Actualización y Modernización muestran niveles de emisiones cercanos a las 50 toneladas de CO_{2eq} por TJ consumido.

Se refuerza la importancia de considerar no solo el volumen absoluto de emisiones, sino también la eficiencia en la utilización de la energía, ya que las medidas de eficiencia energética pueden tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

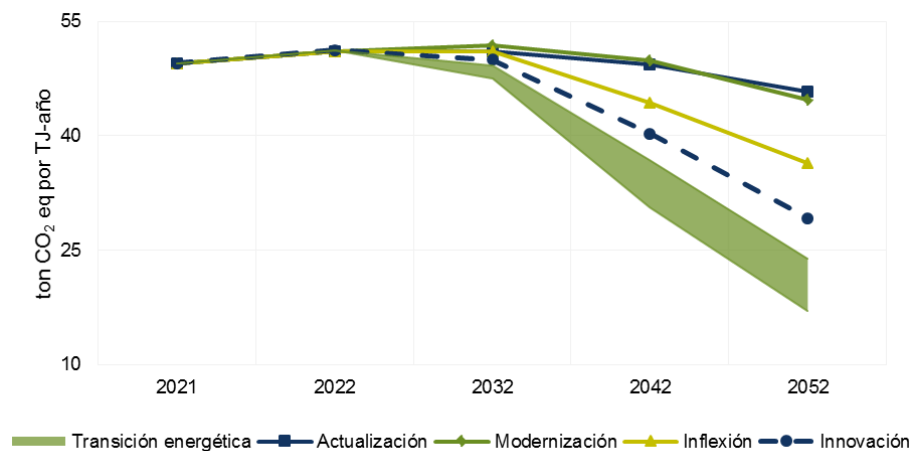


Ilustración 4. Emisiones por unidad de energía consumida en cada escenario.

6. Resultados económicos

A partir de la información base y los supuestos considerados en términos de costos fijos y variables, se ha destacado que las inversiones asociadas a la oferta de energía se sitúan en un rango entre COP 500B y COP 520B para todos los escenarios considerados. Por otro lado, la demanda de energía exhibe montos de inversión mayores, con un rango que oscila entre COP 1.645B (Actualización) y COP 2.911B (Inflexión). Esta variación refleja la diversidad de ambiciones en materia energética con metas cada vez más ambiciosas en la reducción de emisiones, los costos que suponen las transformaciones de los sectores de consumo final y la promoción de fuentes de energía sostenibles.

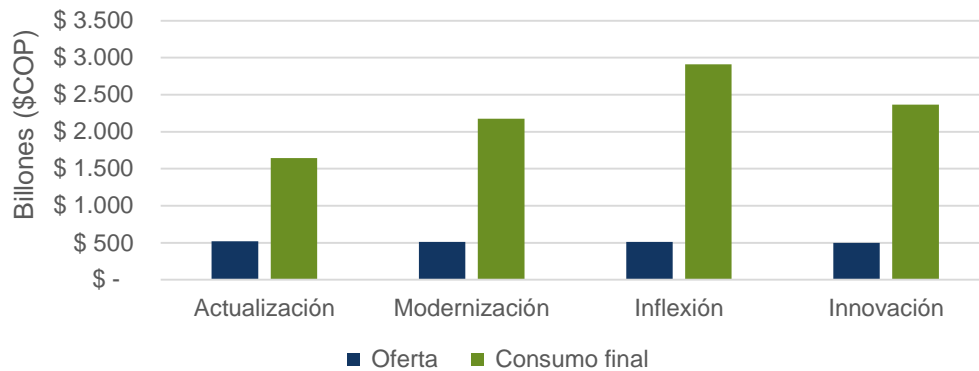


Ilustración 5. Costos totales oferta y consumo final por escenario 2022-2052.

En aplicación de la metodología costo-beneficio para los sectores de consumo final (industria, transporte, residencial y terciario), que tiene como objetivo realizar un análisis en tres niveles: usuario, sistema y sociedad, se obtienen los montos del CAPEX en cada uno de estos sectores, obteniendo que las inversiones en transporte son significativamente mayores por los retos de transformación que se plantean.

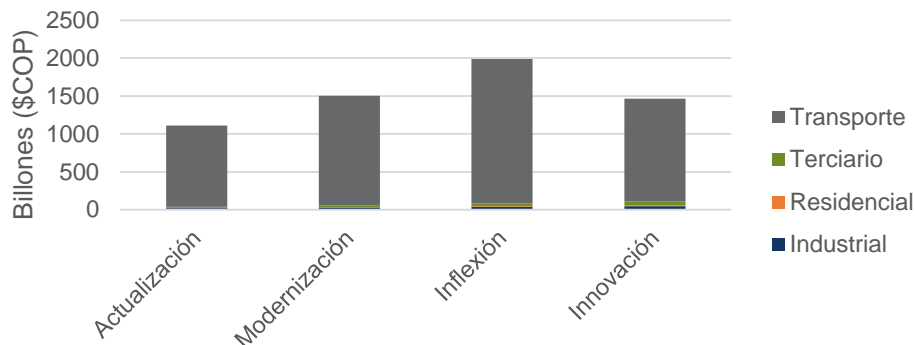


Ilustración 6. CAPEX por escenario para los sectores residencial, terciario, transporte e industrial 2022-2052.

Al incorporar en el análisis otros tipos de costos para los usuarios, así como los costos para el sistema y la sociedad, se obtienen entre COP 3.900B (Actualización) y COP 4.400B

(Modernización). Resalta una vez más las inversiones significativas en las que deben incurrir los usuarios (Privados) representando en promedio el 65% de los costos en los diferentes escenarios, seguidos por los costos sociales con un promedio del 27% y un promedio de costos para el sistema del 8%.

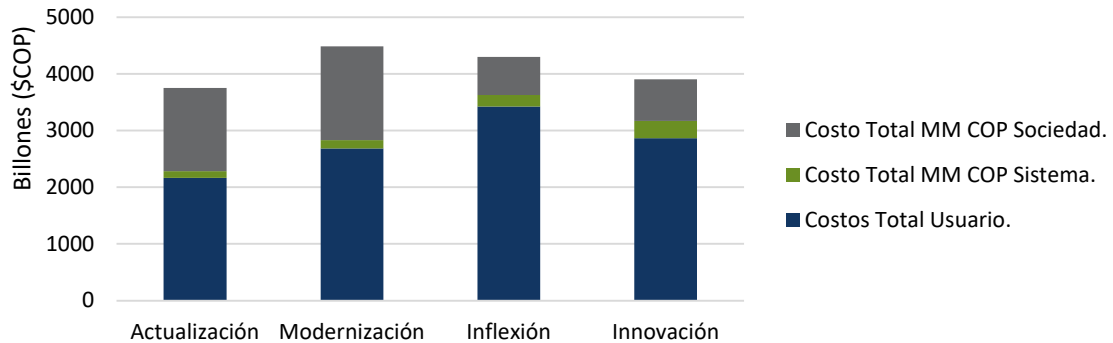


Ilustración 7. Costos desagregados por escenario 2022-2052.

Por otra parte, las ambiciones de los escenarios se reflejan en el comportamiento de los beneficios. En este sentido, se observan beneficios entre COP 1.900B (Actualización) y COP 7.300B (Innovación).

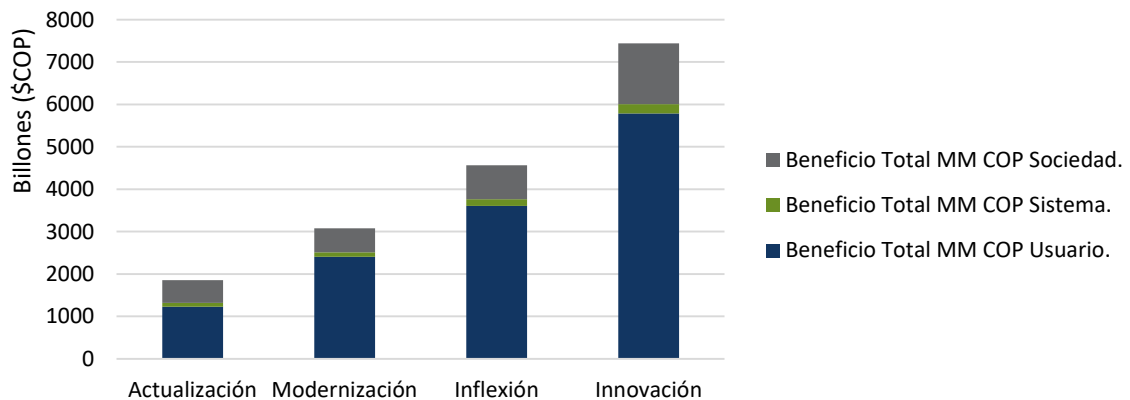


Ilustración 8. Beneficios desagregados por escenario 2022- 2052.

Se destaca que, el único escenario que no es costo beneficioso es el de Actualización y que en todos los demás, la relación costo-beneficio para la sociedad es mayor a uno. Lo anterior refuerza que gran parte de las transformaciones propuestas tienen mayores beneficios por los componentes sociales, la valoración de co-beneficios y las externalidades (en los anexos al documento se desagregan los resultados obtenidos para cada uno de los sectores y el análisis de las medidas consideradas).

7. Mensajes finales

Los ejercicios de modelación de largo plazo combinan iniciativas tecnológicas, con el análisis de entorno, los talleres de participación ciudadana, las iniciativas normativas regulatorias y de política pública de los últimos años, permitiendo identificar variables clave para el futuro energético del país, que se dirigen hacia el cumplimiento de los objetivos del sector energético, entre ellos, la seguridad, la competitividad y la sostenibilidad. En este marco el PEN 2022-2052, espera contribuir con información que facilite la toma de decisiones de los diferentes actores del sector formulando cinco escenarios energéticos, denominados: Actualización, Modernización, Inflexión, Innovación y Transición Energética.

Pilar 1. Seguridad y confiabilidad del abastecimiento

Las expectativas de crecimiento económico y poblacional se reflejan en el aumento de consumo de la energía, frente a esto se requiere una combinación entre el aprovechamiento de los recursos del país, la creación de capacidades internas y la adopción rápida de tecnologías que permitan que ese crecimiento se dé sobre la base de la sostenibilidad, la eficiencia y la gestión de riesgos asociados a la oferta energética.

El país requiere una definición clara de la senda de transformación energética y en ese sentido, alinear las políticas de exploración y explotación de recursos hidrocarbúricos, con la implementación de nuevas tecnologías, así como la habilitación de la electrificación de sectores intensivos en consumo de energía y la inclusión de FNCER en los planes de aumento de la cobertura. Para esto último, se requiere acompañamiento constante a las comunidades de tal manera que el reemplazo tecnológico sea útil y perdurable.

El aprovechamiento del potencial de generación de energía a partir de fuentes de origen renovable permite diversificar y robustecer la matriz de generación eléctrica, reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), abordar temas de cobertura y generar capacidades locales.

Pilar 2. Adaptación y mitigación del cambio climático

Mediante la implementación de medidas de eficiencia en los diferentes sectores, la adopción de tecnologías menos contaminantes y el cambio en los sistemas de transporte, es posible lograr valores de emisiones por unidad de consumo por debajo de los observados históricamente.

Incluso con la implementación de los escenarios de mayor ambición tecnológica, no se logran alcanzar los compromisos ambientales adquiridos por el país para el año 2030, por

lo que destaca la necesidad de implementar de manera más acelerada los procesos de transformación propuestos en los escenarios, así como la importancia de acompañarlos con tecnologías de captura y uso de CO₂.

Las emisiones de GEI en la producción de energía se pueden reducir utilizando nuevas tecnologías como el hidrógeno y la geotermia. A pesar de las señales claras de política pública y de opciones tecnológicas que habilitan la entrada de generación con recursos más limpios, persisten barreras, principalmente asociadas a los costos de inversión y a la identificación-manejo de impactos ambientales, sobre lo cual se puede abonar camino con la creación de capacidades, la participación en programas de cooperación técnica internacional y la formulación de mecanismos de tipo normativo y regulatorio.

La gestión desde la demanda es clave para la transformación energética para lo cual es necesario fortalecer el papel del usuario, dotarlo de información y herramientas que contribuyan a un consumo más consciente en áreas como la digitalización, medición y submedición y responsable que aporte a la transformación energética. En esto se requieren grandes avances en conocimiento, capacitación y el diseño de mecanismos de precios horarios que contribuyan a la toma de decisiones.

Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico

La eficiencia energética, es el fundamento de la transformación energética, por lo que debe considerarse como una herramienta y recurso aliado en todos los sectores de la actividad económica. Esta es una forma efectiva, que apunta a la reducción de costos, implica inversiones de menor monto y de fácil implementación en el corto plazo. Las señales de política han estado dirigidas a la promoción, formulación de incentivos y acercamiento a los sectores, esta es una tarea continua que amerita ampliarse.

Gran parte de la transformación energética está motivada por la transformación del sector transporte, en el que se requieren el mayor monto de inversiones y de necesidades de infraestructura en todos los escenarios y que principalmente deben ser asumidas por el sector privado y el sistema energético, frente a un mayor número de beneficios asociados a impactos en temas ambientales, efectos en salud y competitividad. Para esto el comportamiento de los precios de las tecnologías es clave en la velocidad de implementación y transformación del sector, por lo que la aplicación de mecanismos existentes y el diseño de esquemas de financiamiento se consideran factores habilitadores clave.

El costo de las nuevas tecnologías limita su adopción en el corto plazo, por ello, es fundamental que los mecanismos de incentivos ya existentes 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 y de la habilitación de un mercado que asigne una valoración adecuada a la reducción de impactos ambientales.

Un gran número de las tecnologías identificadas, posibilitan la descentralización del consumo de energía, lo cual además de generar un empoderamiento en la demanda, puede producir transformaciones productivas en el territorio, reducir problemáticas de

acceso a energético, aplazar las necesidades de grandes desarrollos de infraestructura y finalmente, contribuir con la eliminación de brechas de equidad. En este tema es clave la coordinación entre las instituciones del Estado, la academia, las empresas y las personas en el territorio.

Pilar 4. Conocimiento e innovación

Los nuevos desarrollos tecnológicos, tienen riesgos asociados frente a los cuales la mejor forma de mitigación es el acceso a la información y el conocimiento, en este sentido es clave vincular a la academia, al sector privado y al Estado para tener una adecuada oferta de capital humano que permitan aprovechar las oportunidades del mercado.

Desde el territorio, se evidencian la necesidad de que el conocimiento y la información se de en dos vías comunidad-empresas-Estado y Estado-comunidad-empresas, de tal manera que se facilite el dimensionamiento de las necesidades reales, se brinden soluciones oportunas y sostenibles, se realicen procesos adecuados de seguimiento, control y que se materialicen en el desarrollo del territorio.

Resumen Ejecutivo **Plan Energético Nacional (PEN) 2022 - 2052**

Subdirección de Demanda