

# Plan Energético Nacional 2020-2050

La transformación  
energética que habilita  
el desarrollo sostenible

Resumen ejecutivo



El futuro  
es de todos

Minenergía



Unidad de Planeación Minero Energética



## **REPÚBLICA DE COLOMBIA**

### **Ministerio de Minas y Energía**

Ministro

Diego Mesa Puyo

Viceministro

Miguel Lotero

### **Unidad de Planeación Minero-Energética**

Director General

Christian Rafael Jaramillo

Subdirectora de Demanda

Lina Escobar Rangel

Subdirectora de Hidrocarburos

Carolina Cruz Carvajal

Subdirector Energía Eléctrica

Javier Martínez

Subdirector de Minería

Ricardo Viana

### **Colaboradores UPME**

Germán Leonardo Camacho

Julieth Stefany García

Juan Francisco Martínez

William Alberto Martínez

Romel Alexander Rodríguez

Olga Victoria González

Omar Báez

Luis Hernández

Juan Camilo Torres

### **Asesores externos**

Juan Diego Castro

José Lenin Morillo

Insight Box.



**El PEN 2020-2050 es un documento indicativo de prospectiva energética, cuyo propósito es definir una visión de largo plazo para el sector energético colombiano e identificar las posibles vías para alcanzarla. En ese sentido, no es un ejercicio para pronosticar cómo será el futuro, sino explorar las alternativas mediante las cuales se puede moldear.**

---

El PEN 2020-2050 consta de una estructura básica: visión, pilares, objetivos e iniciativas. La visión es el punto al que se aspira llegar en treinta años. Los pilares son las áreas estratégicas en las que la política pública puede intervenir para que los esfuerzos sociedad-academia-gobierno se encaminen hacia la visión. Los objetivos y sus indicadores son los logros que permiten medir el avance hacia la meta y finalmente, las iniciativas son las acciones y tecnologías que materializan los objetivos planteados.

A partir de la estructura básica en el PEN 2020-2050 se conformaron cuatro escenarios energéticos de largo plazo: *Actualización, Modernización, Inflexión y Disrupción* en los que se agrupan iniciativas con grados similares de riesgo tecnológico, aporte a la mitigación del cambio climático y reto de transformación. Los escenarios fueron simulados en un modelo energético integrado con cuyos resultados se puede evaluar cada camino en términos energéticos, ambientales y económicos.

## **DESAFÍOS DEL SECTOR ENERGÉTICO EN LOS PRÓXIMOS 30 AÑOS**

La definición del PEN 2020-2050 parte de la identificación de los desafíos que el sector energético afronta en los próximos 30 años, como resultado de avances tecnológicos, cambios en la orientación de las políticas públicas y tendencias de los mercados.

**Desafío 1. Disponibilidad de recursos energéticos locales, cobertura universal y mejoras en calidad del servicio:** Las expectativas de oferta de recursos internos indican que la autosuficiencia energética podría terminar. En este sentido, diversificar la matriz energética y contar con la infraestructura que permita interactuar con el comercio internacional es crucial para satisfacer las demandas de energía en el futuro.

**Desafío 2. Brecha tecnológica y uso eficiente de los recursos energéticos.** El

rezago tecnológico en los equipos de uso final implica para el país pérdidas entre 6 y 11 mil MUSD al año. Superar las dificultades en la financiación de medidas de eficiencia energética es primordial para la competitividad del sector productivo, la seguridad energética y el cumplimiento de las metas de tipo ambiental.

**Desafío 3. Mitigación y adaptación al cambio climático.** Satisfacer demandas crecientes de energía y de forma simultánea descarbonizar la matriz y el consumo energético requiere inversiones que permitan el ascenso tecnológico hacia combustibles de cero y bajas emisiones.

**Desafío 4. Cambios estructurales en el sector energético asociados a la digitalización y la descentralización.** La creciente disponibilidad de datos y las soluciones modulares y locales para el abastecimiento energético son tendencias complementarias (e inevitables) que rompen la estructura vertical de las cadenas de valor del sector. Por lo que es necesario habilitar su entrada de forma organizada para que el país cuente con más fuentes de oferta, más posibilidades de interconexión y un mayor empoderamiento y participación de los consumidores finales.

**Desafío 5. COVID y la toma de decisiones bajo incertidumbre.** El 2020 ha sido un año excepcional por la COVID 19. Para mitigar el contagio acelerado se han

tomado medidas de aislamiento que han interrumpido las cadenas de producción y servicios locales e internacionales. A largo plazo, los efectos aún son desconocidos, por lo que en el PEN 2020-2050 no se incluyen medidas derivadas por este fenómeno.

## ESTRUCTURA DEL PEN 2020-2050. ¿CÓMO IMAGINAMOS EL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO EN 2050?

**El punto de llegada propuesto es que en 2050 se haya consolidado la transformación energética que habilite el desarrollo sostenible del país.** La transformación energética entendida como el proceso de descarbonización, descentralización y digitalización de las cadenas de valor del sector, implica un cambio en la forma de producir y consumir energía que se acompaña con la apuesta de desarrollo sostenible del país a largo plazo, en la que se busca un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y la mejora en calidad de vida de las poblaciones más vulnerables.

Con la visión definida como punto de llegada, se plantean cuatro pilares para sustentar la acción de la política pública y dos objetivos en cada uno de ellos.

Tabla 1

## Tablero de control de objetivos e indicadores PEN 2020-2050

Pilar	Objetivo	Indicador de seguimiento	Línea base	Visión 2050
Pilar 1. Seguridad y confiabilidad en el 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	3,1 %	12 %- 20 %
Pilar 2. Mitigación y adaptación al cambio climático	Contar con un sistema energético resiliente.	Índices de calidad de prestación del servicio de energía eléctrica	SAIDI: 37,7 h-año SAIFI: 48 al año.	SAIDI: 3-5 horas año SAIFI: 2 -5 veces al año
	Propender por un sistema energético de bajas emisiones de GEI.	Emisiones de CO2 asociadas a la producción de energía	35,047 GgCO2eq-año	70.000- 90.000 GgCO2eq-año
Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico	Adoptar nuevas tecnologías para el uso eficiente de recursos energéticos.	Emisiones de CO2 asociadas al consumo de energía	61.955 Gg CO2eq-año	70.000- 90.000 GgCO2eq-año
		Porcentaje de energía útil sobre el consumo total de energía final	31%	50 %-70 %
	Promover un entorno de mercado competitivo y la transición hacia una economía circular.	Intensidad energética	2,29 kJ/COP	1,08 -1,32 kJ/COP
		Diferencial inflación precios energía vs. Precios al consumidor	2,2 %	
Pilar 4. Conocimiento e innovación	Avanzar en la digitalización y uso de datos en el sector energético.	Consumo per-cápita de leña	132 ton/mil habitantes	36-70 ton/mil habitantes
		Porcentaje de usuarios con medidor inteligente	1.2%-2-4%	90%-100% de los usuarios
	Estimular la investigación e innovación y fortalecer las capacidades de capital humano	Número de grupos de investigación	210	
		Inversión en ACTI como porcentaje del PIB	0,74%	1%

## ESCENARIOS ENERGÉTICOS PEN 2020-2050: ¿CUÁLES SON LOS POSIBLES CAMINOS PARA ALCANZAR LA VISIÓN?

Para alcanzar los objetivos del PEN 2020-2050, se identificaron las tecnologías y acciones que apuntan a la consecución de las metas establecidas. En este sentido se analizaron las posibilidades de abastecimiento como generación con fuentes hidráulicas, térmicas a gas y carbón y la explotación de hidrocarburos, así como

las fuentes no convencionales de energía (eólica, solar, geotérmica), el biogás, la energía nuclear y otros energéticos como el hidrógeno.

De igual forma, se contemplaron las iniciativas asociadas a la descentralización como la generación distribuida, el almacenamiento a pequeña escala, los distritos térmicos, entre otros. También se identificaron acciones relacionadas con la digitalización tales como la localización automática de fallas, la medición inteligente, la operación y mantenimiento de los activos con drones o gemelos digitales, la robotización de los centros de control, entre otras.

Por el lado del consumo energético se analizaron las iniciativas de renovación de equipos en todos los sectores de consumo, tanto a las mejores tecnologías disponibles a nivel nacional como en el mundo. Se tuvo en cuenta las posibilidades de sustitución de combustibles líquidos en el sector transporte e industrial a gas combustible o energía eléctrica y la sustitución de leña por GLP en el sector residencial rural.

Estas iniciativas se clasificaron según su madurez tecnológica, su aporte a la mitigación del cambio climático y el reto de cambio que significaría en el contexto colombiano. Con esta clasificación se identificaron 4 escenarios, que parten del más conservador en términos de riesgos tecnológicos, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y cambios sociales, hasta el que reúne las iniciativas más ambiciosas (y riesgosas).

- **Actualización:** Agrupa las iniciativas con las que Colombia estaría en sintonía con las tendencias actuales.

- **Modernización:** Contempla las tecnologías que darían pie a la gasificación como un primer avance hacia la descarbonización.
- **Inflexión:** Contempla las acciones e iniciativas con las que se apuesta al comienzo de la electrificación de la economía.
- **Disrupción:** Reúne las iniciativas con menor grado de desarrollo tecnológico apuntando a que la innovación sea la clave para encaminarse hacia la carbono neutralidad.

Los escenarios fueron simulados a partir de un modelo que integra oferta y demanda de energía en un periodo de 30 años, con el que se obtienen resultados de índole energética, ambiental y económica.

## Resultados energéticos

Los resultados de la simulación de los escenarios indican un aumento sostenido en la demanda de energía, entre un 48% a un 21% con respecto al consumo actual (ver [ilustración 1.](#)).

*Ilustración 1.*

*Demanda de energía por escenario*

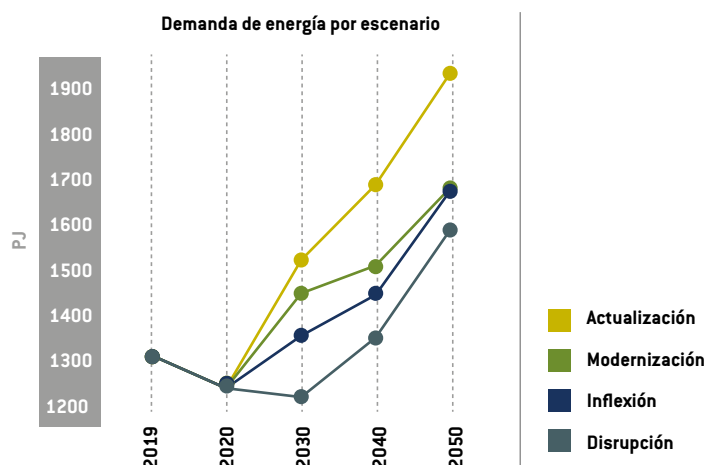
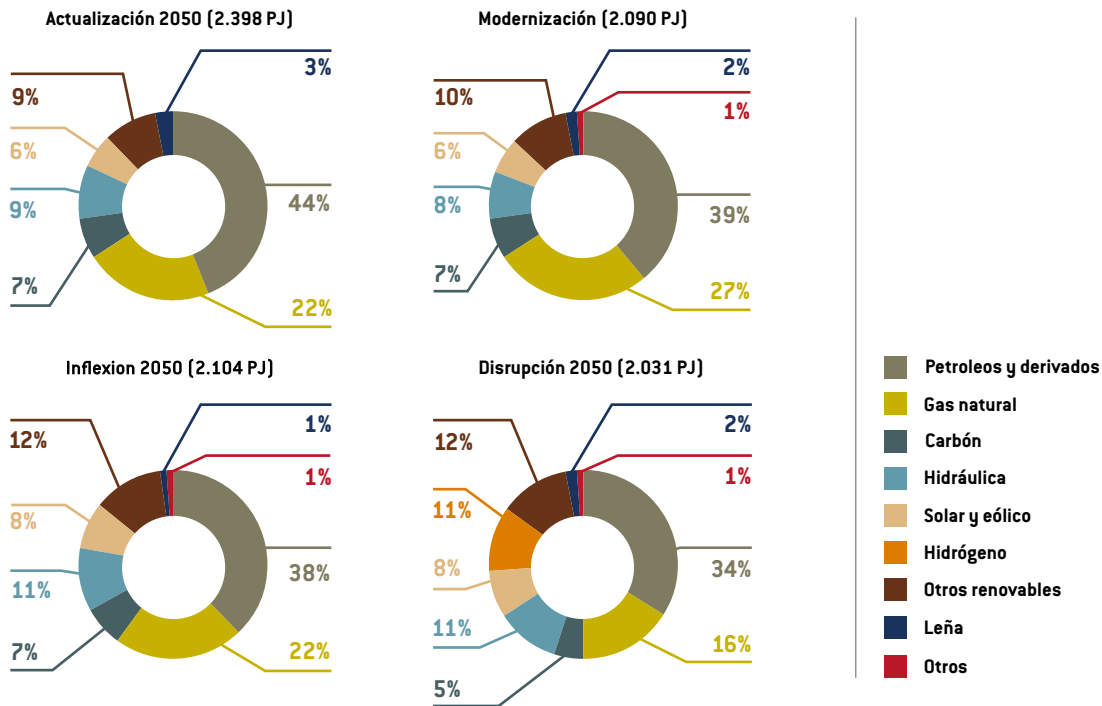


Ilustración 2.

## Composición de la oferta por energético



El crecimiento del consumo frente a 2019 en Actualización es de 48%, en Modernización e Inflexión de 28% y en Disrupción 21%.

Las diferencias entre escenarios se explican por los diferentes supuestos en la adopción de las mejores tecnologías disponibles y las tasas de crecimiento de largo plazo del PIB.

La composición de la canasta energética (Ilustración 2.) muestra que el petróleo y sus derivados (incluye GLP) seguirán participando de forma importante en la oferta. Si bien, cada escenario supone un esfuerzo diferente en la sustitución de estos combustibles, en el más ambicioso, *Disrupción* alcanzan una participación aun importante (34%).

Las fuentes no convencionales de energía y el hidrógeno son los energéticos con potencial de diversificar la matriz energética. En *Inflexión*, la energía solar y eólica alcanza el 8% y 12% de otros renovables, mientras que en *Disrupción* alcanza 8% de solar y eólico, 11% de hidrógeno y 12% otras energías renovables.

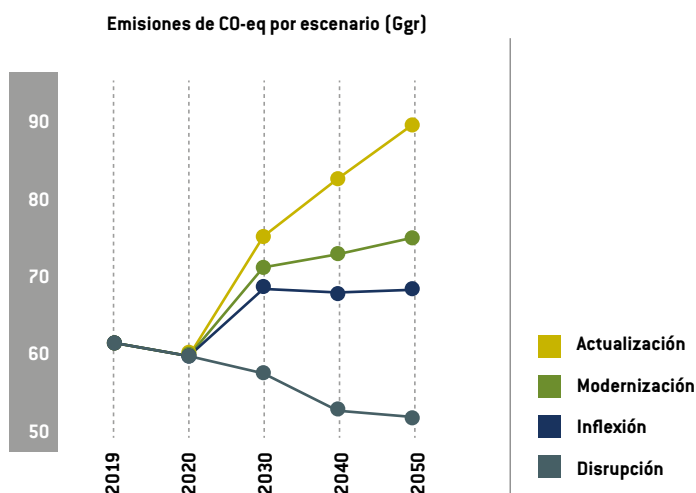
### Resultados ambientales

Las emisiones de CO<sub>2</sub>eq asociadas con el consumo de energía tenderán a aumentar, en concordancia con el crecimiento de la demanda de energía (ver ilustración 3.).

Para 2050, se obtuvieron los siguientes resultados: 90 mil Ggr CO<sub>2</sub> eq en Actualización, 75 mil Ggr CO<sub>2</sub> eq en Modernización y 69 mil Ggr CO<sub>2</sub> eq en Inflexión.

Ilustración 3.

## Emisiones demanda de energía



En el único escenario en que se obtuvo un nivel de emisiones inferior al del año 2019 fue en *Disrupción* con 53 mil Ggr CO<sub>2</sub>eq (16% menos).

Todos los escenarios cumplen con la meta de reducción del 20 % de emisiones con respecto a la línea base de las contribuciones determinadas a nivel nacional NDC <sup>1</sup> para 2030, e incluso se observa el potencial de aumentar las metas (40 % en *Disrupción*).

### Resultados económicos

Con los supuestos utilizados en términos de costos fijos y variables, se encuentra que las inversiones asociadas con producción de energía serían inferiores a las que se estiman por el lado del consumo (ver [ilustración 4.](#)).

El valor presente neto (VPN) de los costos asociados a la oferta se encuentra en el rango entre 40 a 80 mil millones de

USD, mientras que los costos por parte de la demanda se estiman se encuentran en 200 a 300 mil de millones de USD.

La comparación de los costos totales, los ahorros de energía y la reducción de emisiones indica que mientras mayores sean las ambiciones en términos de eficiencia energética y mitigación del cambio climático mayor será el esfuerzo financiero que se debe hacer en el sector energético y en el consumo de energía. *Disrupción* es el escenario más costoso, pero se alcanzan reducciones agregadas de energía y emisiones del orden del 17 % y 28 %, respectivamente, en relación con *Actualización*. *Disrupción* es 13% más costoso que *Actualización*.

Por el lado de la demanda, las mayores inversiones son las del recambio de flota del sector transporte. Estas representan (en todos los escenarios) una fracción superior al 80 %. Por tanto, si la diferencia

<sup>1</sup> Se considera la línea base para las NDC de 98.000 Ggr en 2030 y 135.000 Ggr en 2050.



Ilustración 4.

VPN del costo total de los escenarios del PEN 2020-2050 (Miles de millones de USD)

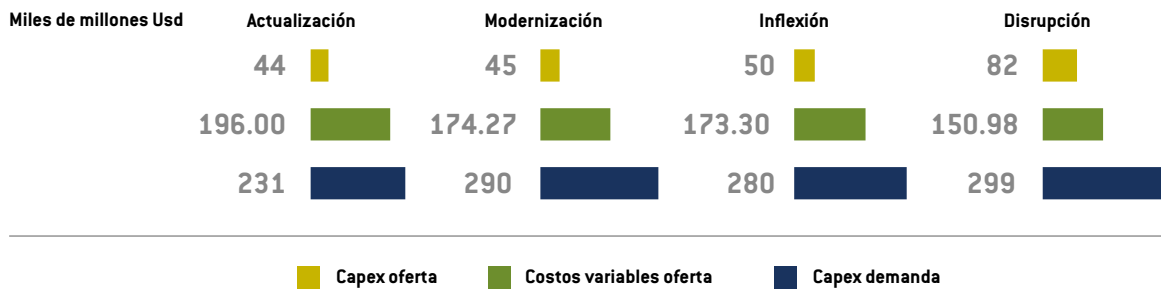
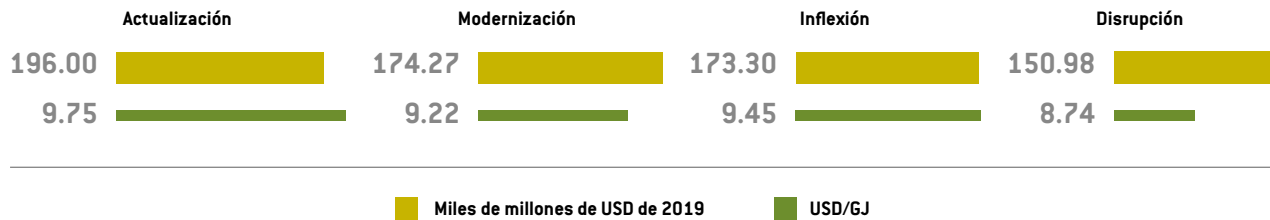


Ilustración 5.

VPN Costos variables y costos unitarios



de costos de las tecnologías vehiculares con energía eléctrica y gas natural con respecto a la de combustibles líquidos se mantiene o no se reduce durante las próximas tres décadas, las inversiones de los escenarios *Modernización*, *Inflexión* y *Disrupción* serían aún mayores que las presentadas.

En cuanto a los costos variables (o de operación), las ganancias en eficiencia en el uso de energía permiten que en *Disrupción* e *Inflexión* se alcancen los mayores ahorros. En términos porcentuales, los potenciales ahorros en los costos de operación frente al escenario de *Actualización* son de 11 % en *Modernización*, 12 % en *Inflexión* y 23 % en *Disrupción*.

El costo unitario de energía también tiene potencial de reducción en los escenarios. Con los supuestos de precios utilizados, las reducciones frente a *Actualización* en el costo unitario son de 6 % en *Modernización*, 3 % en *Inflexión* y 10 % en *Disrupción*.

## MENSAJES FINALES

El PEN 2020-2050 como ejercicio de planeación de largo plazo es una reflexión de cómo el cambio tecnológico y social puede moldear el futuro del sector energético. En este sentido, los escenarios propuestos: *Actualización*, *Modernización*, *Inflexión* y *Disrupción* son formas simplificadas de los posibles caminos que apuntan a que la transformación energética

habilite el desarrollo sostenible del país. A continuación, los mensajes resultantes de este ejercicio.

### **Pilar 1. Seguridad y confiabilidad en el abastecimiento**

- El crecimiento económico y de población implica que la demanda de energía aumentará, por lo que el abastecimiento interno dependerá de la explotación de recursos locales, la diversificación de la matriz y la mayor conexión con el comercio internacional de energéticos.
- Los combustibles fósiles seguirán participando de forma importante en la oferta de energía primaria, por lo que las decisiones de explotación de hidrocarburos al interior del país tendrán impacto en la balanza comercial del sector.
- La energía renovable se perfila como la fuente principal para la generación eléctrica, y podrían sustentar la producción interna de hidrógeno verde.-
- Los gases combustibles pueden ser el primer paso en la sustitución de los combustibles líquidos y la leña.

### **Pilar 2. Mitigación y adaptación al cambio climático**

- El país tiene el potencial para cumplir con las metas de reducción de emisiones de GEI, siempre que se adopten nuevas tecnologías tanto en la producción como en el consumo de energía.
- Las señales de mercado y los mecanismos de financiación para el recambio

tecnológico son fundamentales para la descarbonización.

- Avanzar hacia la carbono-neutralidad requiere incentivar medidas ambiciosas de recambio tecnológico, sustitución de combustibles fósiles, así como la implementación de tecnologías de uso, captura y almacenamiento de carbono, la forestación y reforestación, la restauración de tierras y el secuestro de carbono en el suelo; entre otras.

### **Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico**

- La modernización tecnológica requiere inversiones significativas, por lo que, alcanzar las metas de eficiencia energética dependerá de los recursos y mecanismos de financiación disponibles.
- La evolución en precios de las tecnologías del sector transporte será el elemento clave para la diversificación de la matriz, la eficiencia energética y la descarbonización.
- La transformación energética brinda oportunidades para la creación una nueva industria a nivel nacional y el empoderamiento local.

### **Pilar 4. Conocimiento e innovación**

- La gestión del conocimiento es necesaria para habilitar la transformación energética y el desarrollo sostenible.
- La industria del hidrógeno puede impulsar el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas, las inversiones y la generación de empleo.

- La automatización, así como la creciente disponibilidad de datos requiere de capital humano con un enfoque, formación y habilidades distintas a las que el sector energético ha demandado hasta el momento.

