



Retos y oportunidades de la transición energética

 **YouTube** <https://www.youtube.com/watch?v=fXWuWLPQIVc>

Santiago Barbosa (investigador del DNP)

Este seminario responde a una pregunta central: ¿qué es lo que hay en torno a la transición energética? Es importante entender las condiciones del tema, ante la necesidad de asumir esta como un reto ineludible de todos los países hoy. Entonces, este ejercicio permite mostrar en qué consiste el tema de la transición energética, cuáles son sus fundamentos y componentes, así como sus proyecciones simuladas a través del modelo *EnergyScope*.

Esta presentación se desarrolla desde tres perspectivas:

- a)** Desde un contexto global
 - Se analiza el Índice de Transición Energética en el caso de Colombia
- b)** Desde el análisis energético
 - Contexto, metodología y resultados
- c)** Desde el análisis macroeconómico
 - Contexto, metodología y resultados

Para evaluar los insumos y los procesos de la transición energética en Colombia, desde el DNP, se ha utilizado el modelo *EnergyScope*.

Entonces, se avanza desde la pregunta: ¿qué retos y oportunidades hay respecto a este problema? El Índice de Transición Energética (ITE) nos muestra qué tan preparado está un país para la transición energética. En este índice nadie arranca de cero en el planeta en este ITE, el número mínimo para cualquier país es 40, y el puntaje máximo es 120; Colombia se encuentra en 60,5 puntos para el último año tomado, el 2023 (ver gráfico 1). Este indicador funciona a la manera de una foto: un año objetivo.

Gráfico 1. Índice de Transición Energética para Colombia



Comportamiento del índice para Colombia

2023

- Índice de Transición Energética: 60,5
- Desempeño del sistema energético: 65,5
 - Equitativo: 55,8 -
 - Seguro: 68,4 +
 - Sostenible: 72,5 ↔
- Preparación para la transición: 53,0
 - Regulación y compromiso: 65,2 +
 - Infraestructura: 47,6 ↔
 - Educación y capital humano: 72,5 +
 - Innovación: 25,8 ↔
 - Finanzas e inversiones: 49,4 +

Frente a los últimos 10 años

- Índice de Transición Energética: 56,1
- Desempeño del sistema energético: 67,0
 - Equitativo: 70,0
 - Seguro: 59,8
 - Sostenible: 71,2
- Preparación para la transición: 39,8
 - Regulación y compromiso: 41,6
 - Infraestructura: 43,0
 - Educación y capital humano: 52,6
 - Innovación: 22,2
 - Finanzas e inversiones: 39,1

Fuente: DNP (2024).

En el caso colombiano ha habido cambios hacia la transición energética, con resultados a mostrar en inversión de capital humano, aunque en temas de infraestructura e innovación se presenta estancamiento por más de 10 años. En el gráfico 1 se puede ver un comparativo, desde diversos indicadores desagregados del ITE, entre los datos arrojados para el año 2023 y el promedio de los últimos 10 años; se evidencia una evolución sustancial en los resultados para 2023.

Gráfico 2. ITE para Colombia



Comportamiento del índice para Colombia

2023

- Índice de Transición Energética: 60,5
- Desempeño del sistema energético: 65,5
 - Equitativo: 55,8 -
 - Seguro: 68,4 +
 - Sostenible: 72,5 ↔
- Preparación para la transición: 53,0
 - Regulación y compromiso: 65,2 +
 - Infraestructura: 47,6 ↔
 - Educación y capital humano: 72,5 +
 - Innovación: 25,8 ↔
 - Finanzas e inversiones: 49,4 +

Frente a los últimos 10 años

- Índice de Transición Energética: 56,1
- Desempeño del sistema energético: 67,0
 - Equitativo: 70,0
 - Seguro: 59,8
 - Sostenible: 71,2
- Preparación para la transición: 39,8
 - Regulación y compromiso: 41,6
 - Infraestructura: 43,0
 - Educación y capital humano: 52,6
 - Innovación: 22,2
 - Finanzas e inversiones: 39,1


Fuente: DNP (2024).

➤ Análisis energético

El modelo se divide en dos partes: una primera, *EnnergyScope Typical Day* (TD), en el que se recurre a la optimización del diseño y operación de un sistema energético, nacional y energético, resolución horaria, en un año objetivo. Mientras que, en el *EnergyScope Pathway*, se proyecta, en este caso, la optimización de una vía de transición entre 2021 y 2050.

El modelo de análisis energético funciona con una estructura matricial que relaciona un conjunto de insumos, en aras de tipos de transformación en energía, con usos en movilidad y almacenamiento de energía. Así, desde una combinación de recursos (madera, biomasa, carbón, petróleo, diésel, hidrógeno, etc.), se suman redes de transformación y una química de alto valor, en una primera etapa; luego, esto se traduce en producción eléctrica, calefacción centralizada, calefacción descentralizada, almacenamiento CO2, captura CO2, combustibles sintéticos; y, finalmente, tenemos los usos de esta producción en movilidad privada, movilidad pública, transporte de carga, calefacción industrial, almacenamiento de electricidad, almacenamiento térmico. Este proceso se resume en el siguiente gráfico 3.

Gráfico 3. El modelo EnergyScope



EnergyScope Typical Day (TD)

Insumos	EnergyScope Typical Day (TD)	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> Recursos <ul style="list-style-type: none"> Costo y emisiones Disponibilidad anual Perfiles por hora Tecnologías (conversión) <ul style="list-style-type: none"> Inversión Costo de operación y mantenimiento (OPEX y CAPEX) Almacenamiento y combustibles sintéticos Demanda <ul style="list-style-type: none"> Electricidad Calefacción Movilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo de optimización lineal Variables <ul style="list-style-type: none"> Capacidad tecnológica Producción horaria Función objetivo <ul style="list-style-type: none"> Minimización del costo del sistema $\min C_{tot} = \sum_{j \in TB31} [x(j)C_{inv}(j) + C_{mant}(j)] + \sum_{i \in TB35} C_{op}(i)$ Restricciones <ul style="list-style-type: none"> Emisiones Balance energético Capacidad de almacenamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionamiento de las tecnologías y la operación <ul style="list-style-type: none"> GW Operación <ul style="list-style-type: none"> Balance energético por hora Almacenamiento por hora Energía primaria utilizada Integración de tecnologías Emisiones y costos

Fuente: DNP (2024).

En el gráfico 4 se muestran los escenarios y etapas para el diseño del ejercicio que se muestra en la presente investigación.

Gráfico 4. Diseño del ejercicio



Diseño del ejercicio

- Estructuración de la modelación:
 - Escenario base a partir de los datos publicados en los últimos Planes Energéticos Nacionales (PEN)
 - Potenciales probados a nivel Nacional u Subnacional
 - Proyecciones de demanda realizadas por la UPME a nivel sectorial (Transporte, Residencial, Industrial)
- Aspectos principales de la modelación
 - Optimización del diseño y operación de un sistema energético
 - Nacional
 - Resolución horaria
 - Un año objetivo y posteriormente la senda

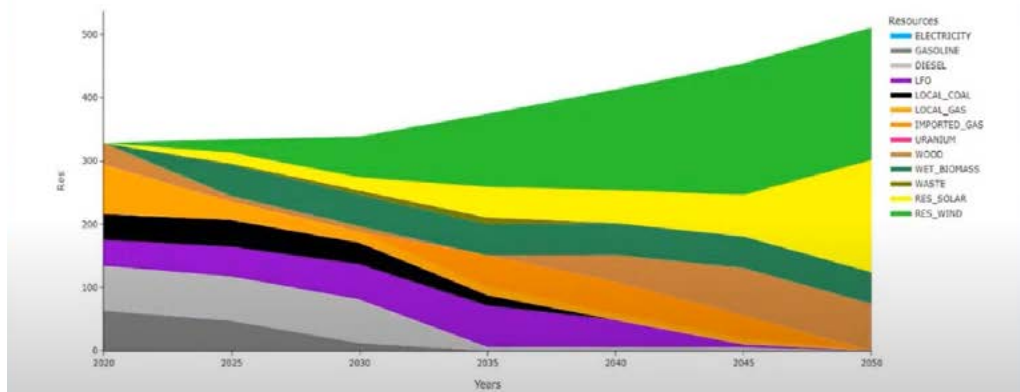
Fuente: DNP (2024)

Estas proyecciones de la transformación energética en Colombia permiten revisar las relaciones entre necesidades y recursos para planear desde los recursos potenciales probados que posee el país, desde los datos publicados por los planes energéticos nacionales. El gráfico 5 muestra las posibles combinaciones de fuentes de energía para el caso colombiano.

Gráfico 5. Uso de recursos



Uso de los recursos dentro de la transición

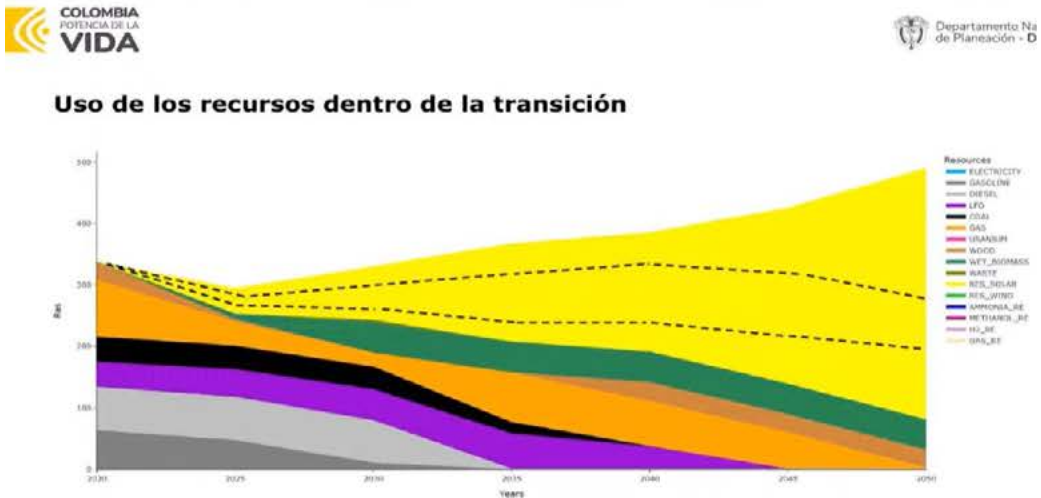


Fuente: DNP (2024).

Aunque, se señala que, en estos procesos de transición, los recursos tienden a concentrarse en las fuentes fotovoltaicas (amarillo), como se aprecia en el gráfico 6.

Entonces, ante esta perspectiva, el modelo muestra el modo como se debe distribuir y racionalizar el uso de los recursos de acuerdo con las oportunidades en el desarrollo de la transición energética, revisando sus impactos económicos desde los costos de inversión, de mantenimiento, de infraestructura, etc.

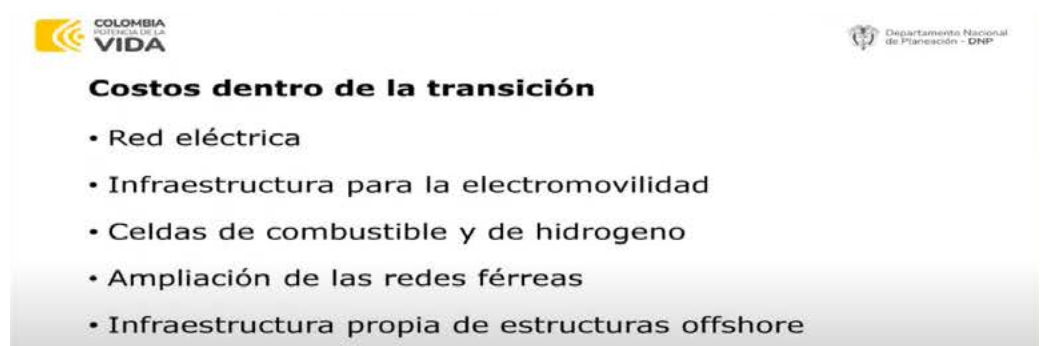
Gráfico 6. Cambio de uso de los recursos a lo largo de la transición



Fuente: DNP (2024).

Una primera necesidad es la ampliación de la red eléctrica; una segunda, se debe construir la infraestructura de la electromovilidad; una tercera, la ampliación de las redes férreas; y finalmente, las estructuras marítimas. Todo este escenario se resume en el siguiente gráfico.

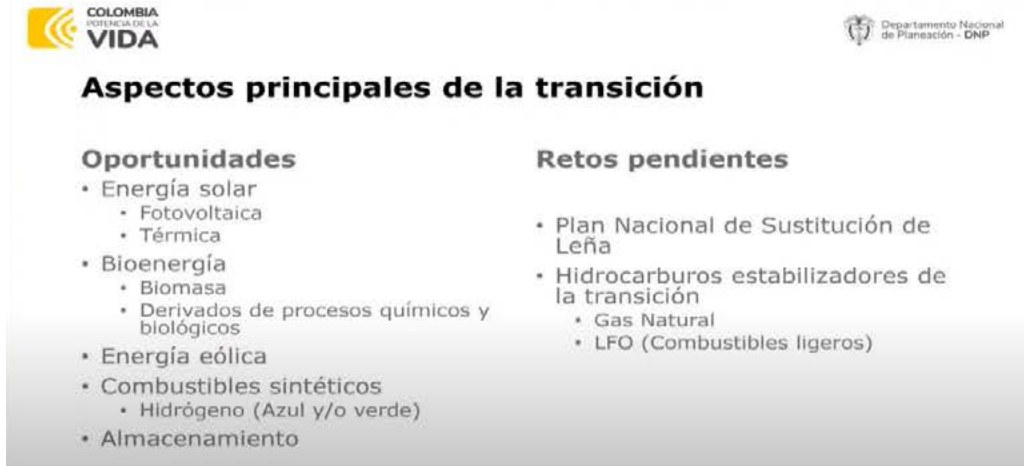
Gráfico 7. Escenarios de costos para la transición energética



Fuente: DNP (2024).

Así, el desarrollo de estos escenarios se asume desde oportunidades de recursos y el desarrollo de políticas para asumir retos pendientes para el proceso de la transición energética.

Gráfico 8. Oportunidades y retos de la transición



Fuente: DNP (2024).

> Análisis macroeconómico

Se expone un resumen de costos de las tecnologías de almacenamiento más importantes en aras de realizar un análisis de acople macroeconómico y así asumir los retos de financiamiento. En el gráfico 9 se muestran los costos de inversión, mantenimiento y las emisiones de CO2 respectivas, así como la vida útil probable en años.

Se busca promover una industria que participe en la producción de baterías de litio, de encadenamientos productivos en la cadena global de transición, todo esto sujeto a escenarios y precios internacionales, y en clara dependencia de las regalías para sobrellevar costos.

Gráfico 9. Costo de la tecnología de almacenamiento

COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA | Departamento Nacional de Planeación - DNP

Tecnologías de almacenamiento

Tecnología	Costo inversión (\$/kWh)	Costo Mantenimiento (\$/kWh/y)	Emisiones del proceso (kgCO2-eq/kWh)	Vida útil (año)
Batería ion litio	302	0,62	61,3	15
Alm. Térmico Desc.	19,0	0,13	0	25
Gas	0,051	0,0023	0	30
H2	6,19	0,03	0	20
CO2	49,5	0,495	0	20
Combust. ligeros	6,35	3,97	0	20

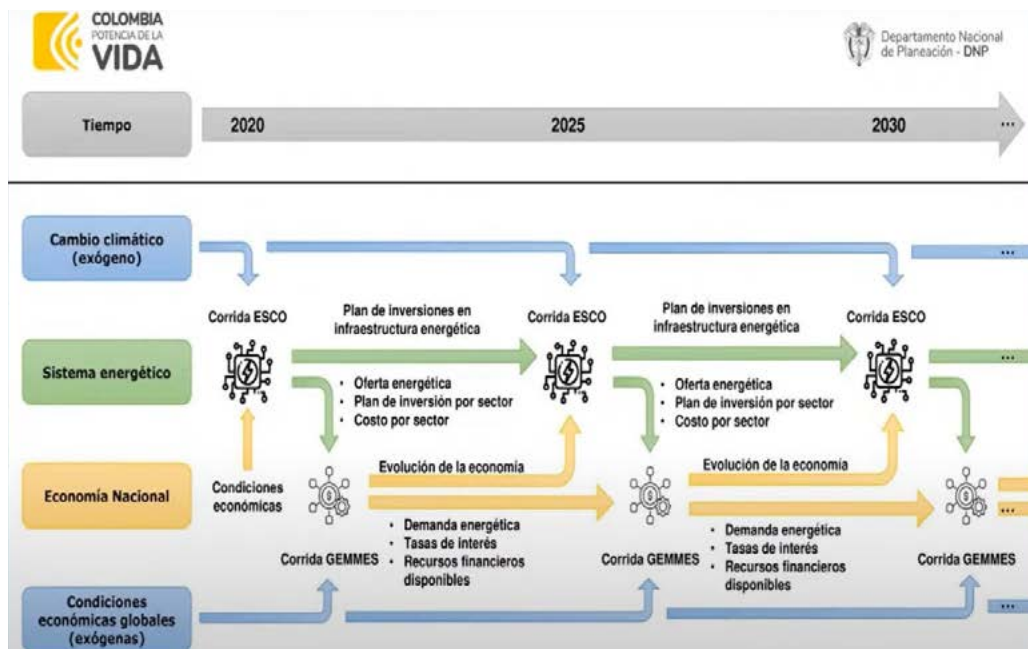
Fuente: DNP (2024).

Los desarrollos en torno a la transición energética presentan dos aspectos: de un lado, diversidad de impactos en costos, en la actividad económica y en la estabilidad fiscal y macro (impactos directos), y, en medio ambiente, en eficiencia de procesos y

en “limpieza de procesos” (impactos indirectos); de otro lado, estos costos dependen de disponibilidad de tecnología, de curvas de ajuste de tecnología y de evolución en los precios interacionales, así como de un proceso de reoptimización mediante desarrollos a nivel nacional que permita la flexibilización el escenarios de la transición energética.

En el siguiente gráfico vemos una secuencia de flujo desde la que se puede entender la transformación energética en terminos económicos, tanto desde una perspectiva nacional como internaciones, de acuerdo con cambios posibles en los escenarios de planeación local de la inversión en infraestructura y los cambios en las condiciones económicas globales.

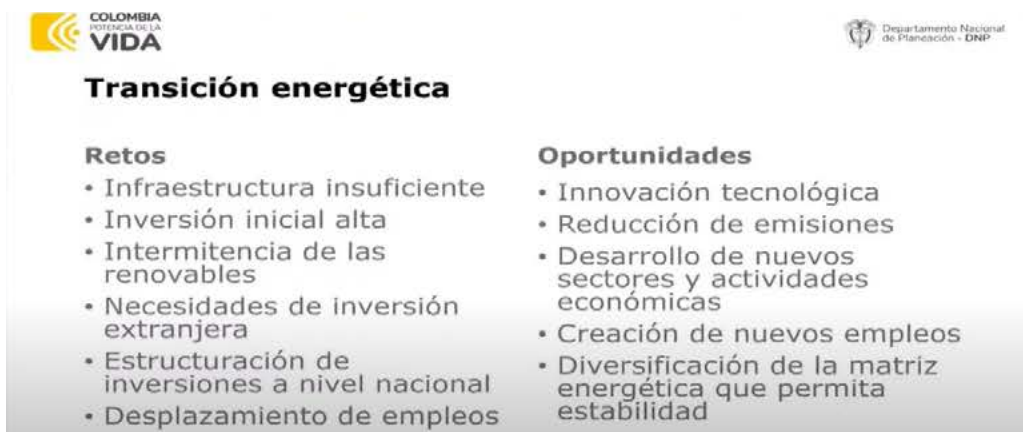
Gráfico 10. Secuencias de planeación e inversión en infraestructura



Fuente: DNP (2024)

Finalmente, en el gráfico 11 se presentan los retos a asumir y las oportunidades generadas hacia donde debemos mover nuestros esfuerzos en un futuro inmediato.

Gráfico 11. Retos y oportunidades



Fuente: DNP (2024).

> Preguntas

• **Pregunta 1**

A partir del 2035, la reducción de usos energéticos como el diésel y la gasolina alcanzará su máxima meta: ¿cuáles serían los supuestos para llevar a cabo esta reducción en el sector transporte?

En cuanto a los escenarios industrial y residencial implican grandes discusiones; en cambio, en el sector de movilidad se impusieron restricciones de emisiones, todo esto sujeto a los cambios de las variables que se vayan dando a lo largo del tiempo. Y justamente, uno de los costos más altos es el de la electromovilidad, pues estas transiciones son muy costosas, tanto para el sector privado como para el sector público. En definitiva, este reto se asume desde dos perspectivas: desde un marco regulatorio y desde un marco económico.

• **Pregunta 2**

¿Cómo abordar las tecnologías de almacenamiento de energía en estos procesos de transición energéticos?

La tecnología de almacenamiento de energía es muy importante para jugar un papel en tiempo distintos de su producción. Además, porque juega un papel significativo en regiones descentralizadas de los centros de producción.

> Referencias

DNP (2024). Retos y oportunidades de la transición energética. <https://www.youtube.com/watch?v=fXWuWLPQIVc>

“Este documento representa la opinión de sus autores y no compromete la posición institucional del Departamento Nacional de Planeación”.