



Características básicas de una transición energética para Colombia*

- El diseño de la transición energética debe partir del balance energético actual y requiere un enfoque prospectivo y de costo-eficiencia en la formulación de políticas, buscando maximizar el rendimiento de las inversiones al tiempo que se reducen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- En la presente nota se analizan dos escenarios de transición: uno que no incluye políticas activas de reducción de emisiones y prioriza la eficiencia en costos y el suministro de energía para la demanda proyectada a 2050; y otro que incorpora una política de cero emisiones netas en el sector eléctrico.
- La transición energética presenta una serie de oportunidades prometedoras, así como desafíos que deben abordarse para garantizar el éxito de esta transformación, garantizando la estabilidad económica del país.

La transición energética representa un cambio estructural que va más allá de la simple adopción de energías renovables, ya que implica una transformación profunda en la forma en que se concibe y utiliza la energía, con impactos significativos sobre la tecnología, la economía y la sociedad en su conjunto. La adopción de nuevas tecnologías en esta transición presenta desafíos complejos, como la facilidad y el costo de uso, la eficiencia y el cambio cultural asociado con nuevos patrones de consumo y conservación de energía.

El diseño de la transición energética debe partir del balance energético actual, ya que permite identificar las restricciones tecnológicas del sector y los recursos con mayor potencial, para así determinar la mejor manera de aprovechar estos recursos y las posibles alternativas para la adopción de nuevas tecnologías.

Tomando como referencia las cifras del balance energético colombiano para el 2021, construido por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)¹, se encuentra que el consumo final de energía del país en el año 2021 fue de 1.319 Petajoules (PJ). **El sector de transporte tiene la mayor participación en el consumo (39,5%), seguido por el sector industrial**

(25,2%) y el sector residencial (19,3%). El restante 16% del consumo de energía, se encuentra conformado por los sectores comercial y de servicios públicos, agrícola y otros sectores. Aquí es importante mencionar que, en el caso del sector residencial, la fuente primaria utilizada es el sector hidroeléctrico, con pocas emisiones de GEI, mientras que para el sector de transporte son los combustibles fósiles, y para el sector industrial las calderas, que tienen una mayor incidencia en las emisiones de GEI.

A partir de las características del balance energético es posible establecer un escenario con el cual se pueden comparar diferentes acciones de política dirigidas hacia la transición energética, usando el modelo *EnergyScope*, para identificar los cuellos de botella, alternativas que antes no han sido consideradas o efectos no deseados de las políticas. Al ser la transición energética una política de largo plazo, los escenarios se enmarcan en un análisis de prospectiva: en este caso la adopción de nuevas tecnologías. Adicionalmente, se adopta un enfoque costo – eficiencia: la capacidad de lograr un objetivo deseado al menor costo posible, buscando el mayor rendimiento de los recursos invertidos. Lo anterior implica que, además de alcanzar los menores costos,

*Este documento hace parte de las publicaciones de la Subdirección General de Inversiones, Seguimiento y Evaluación del Departamento Nacional de Planeación. La elaboración de esta nota fue realizada por Santiago Barbosa, Luis Jorge Garay, Gustavo Hernández y Gabriel Piraquive. Los resultados y conclusiones presentados aquí están basados en el documento "Hacia una economía baja en carbono en

Colombia: Elementos de reflexión de política económica". Los errores, opiniones y omisiones son responsabilidad de los autores y no comprometen a la institución en que trabajan.

¹ Disponible en: <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECCO-Consulta.aspx>

también se deben reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes.

En el primer escenario se prioriza la eficiencia en costos y el suministro de energía para satisfacer la demanda proyectada a 2050, sin considerar políticas activas de reducción de emisiones GEI. En el segundo escenario se proyecta una política de cero neto emisiones en el sector eléctrico: reducir las emisiones de GEI en un 99% al 2050.

En el primer escenario (Gráfico 1), se muestra la importancia del potencial fotovoltaico (PV) como una fuente confiable y renovable de energía con bajas emisiones GEI, al punto de que la generación podría alcanzar a representar el 50% en la matriz energética en 2050. De otra parte, se transitaría hacia el uso de gas en la movilidad pública y de carga, resaltando la importancia de diversificar la fuente de gas mediante procesos de biometanización, utilizando la biomasa disponible en el país. En lo que respecta a la movilidad privada, solo se lograría alcanzar la mitad de la flota con gas, subrayando la necesidad de políticas más exigentes para descontaminar este sector. A pesar de la ausencia de políticas activas de reducción de emisiones, el escenario permitiría alcanzar una disminución del 21% en las emisiones de GEI a 2050.

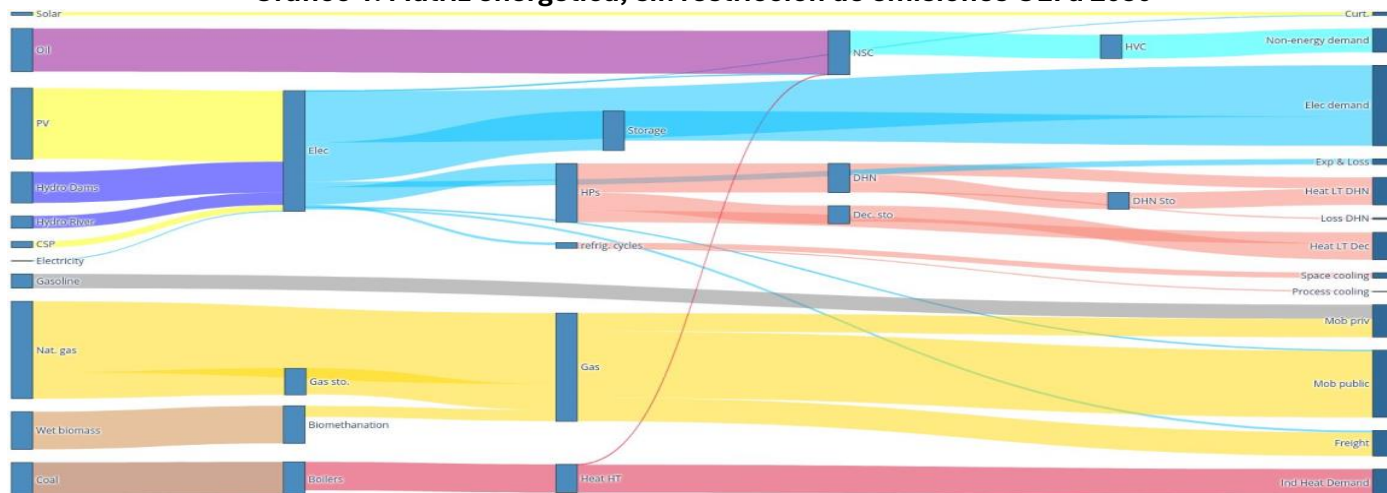
Al involucrar el objetivo de cero emisiones netas (Gráfico 2), se hace imprescindible aprovechar al máximo el potencial de las fuentes no convencionales de energías renovables. La energía

fotovoltaica emergería como una solución significativa, destinándose no solo a abastecer la demanda eléctrica industrial, sino también a satisfacer necesidades residenciales, a la calefacción en distritos centralizados y descentralizados, así como convertirse en un insumo fundamental para la producción de hidrógeno verde, recurso crucial para impulsar la transición hacia un transporte de carga más sostenible. Otra parte del transporte de carga sería abastecida a través de energía eléctrica y biodiésel, mientras que la movilidad pública se orientaría principalmente hacia el uso de biodiésel. En el sector de la movilidad privada, aunque una parte significativa (30%) se nutriría de la matriz eléctrica, el resto (70%) se abastecería con gas. Es importante destacar que este gas no sería solamente de origen natural, sino que provendría del proceso de biometanización de la biomasa disponible en el país.

Cuadro 1. ¿Qué es el modelo EnergyScope?

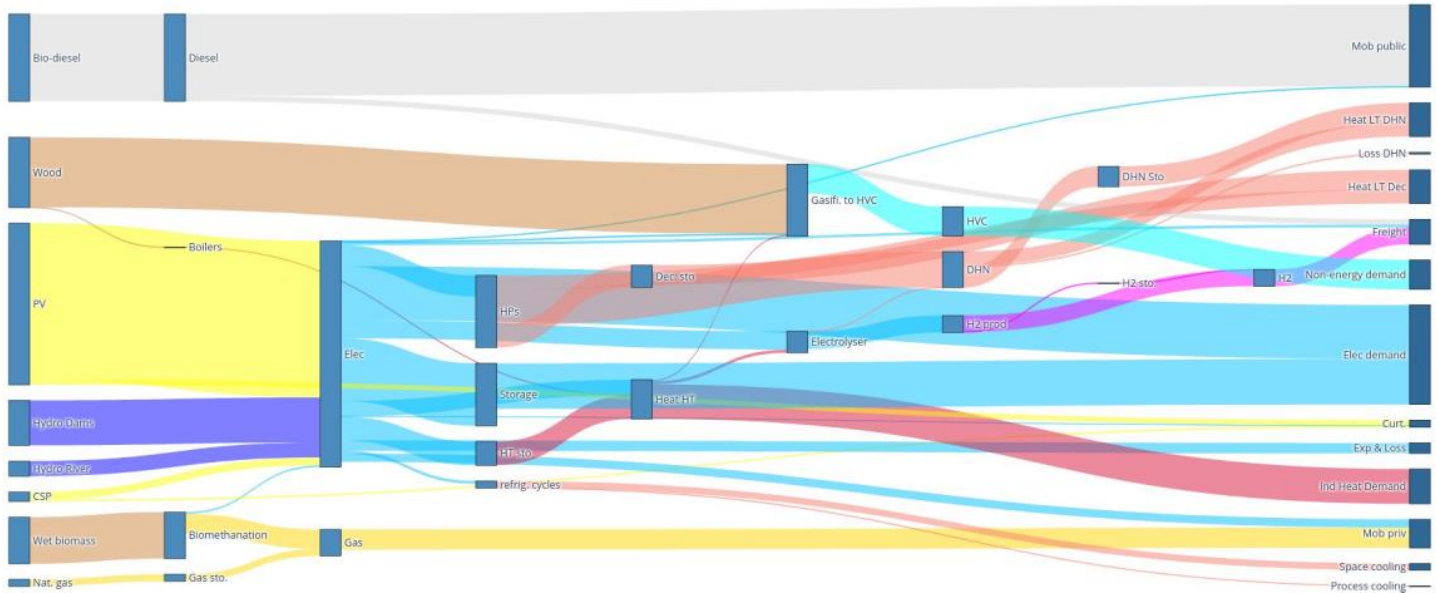
EnergyScope es una valiosa herramienta de código abierto para modelar y analizar sistemas energéticos a nivel regional o nacional. Al permitir simular diferentes escenarios y evaluar el impacto de tecnologías renovables, este modelo es fundamental para estudiar la transición energética. Con EnergyScope, los tomadores de decisiones pueden optimizar la gestión energética y diseñar sistemas más sostenibles y eficientes, apoyando así la transición hacia un futuro energético más limpio.

Gráfico 1. Matriz energética, sin restricción de emisiones GEI a 2050



Cálculos realizados con el modelo EnergyScope.

Gráfico 2. Matriz energética, cero neto emisiones GEI a 2050²



Cálculos realizados con el modelo EnergyScope.

En el escenario cero neto emisiones se subraya la importancia de una transformación profunda del sistema energético hacia fuentes más limpias y sostenibles. Las energías renovables y la biometanización se erigirían como pilares fundamentales para alcanzar una reducción drástica de las emisiones y avanzar hacia un futuro energético más sustentable y resiliente. **Aquí se contempla que la inversión a realizar sería de un total de 9,6% del PIB anual** (5,3 puntos porcentuales adicionales del PIB al año frente al primer escenario presentado).

Por otra parte, se debe tener en cuenta que la transición energética en Colombia presenta una serie de oportunidades prometedoras que pueden ser aprovechadas para impulsar un desarrollo económico sostenible y reducir las emisiones de GEI. Por ejemplo, la combinación de energía fotovoltaica con la posibilidad de incorporar centrales térmicas solares (CSP) ofrecería una vía para diversificar la matriz energética del país. Esto no solo garantizaría un suministro estable y confiable de energía eléctrica, sino que también aprovecharía de

manera eficiente la abundante radiación solar de Colombia, cuyo potencial de generación a partir de esta fuente renovable equivale a aproximadamente el doble de la capacidad instalada actual de todas las fuentes de energía (Vega & Muñoz, 2023).

Uno de los principales desafíos de la transición radica en la capacidad de almacenamiento de las diferentes fuentes de energía, así como en la construcción de la infraestructura necesaria tanto para la generación como para la transmisión de energía. Esto con el objetivo de garantizar la seguridad, confiabilidad y estabilidad del sistema, superando la elevada vulnerabilidad existente hoy ante los riesgos del cambio climático.

A su vez, en el escenario dos se observa cómo el potencial de la biomasa y su desarrollo podrían traer oportunidades significativas para Colombia. La biomasa, como fuente de energía renovable derivada de materia orgánica sería utilizada para generar electricidad, producir biocombustibles y proveer calor para aplicaciones industriales y residenciales. La integración de estas tecnologías en

² **Glosario del Energy Scope:** Bio-diesel: biodiésel; Wood: Madera; PV: Fotovoltaica; Hydro dams: Presas hidroeléctricas; Hydro river: Presas de río; CSP: Energía solar concentrada; Wet biomass: Biomasa húmeda; Nat. Gas: Gas natural; Diesel: Diesel; Boilers: calderas; Biomethanation: Biometanización; Gas sto: Almacenamiento de gas; Elec: Electricidad; Gas: Gas; HPs: Bombas de calefacción; Storage: Almacenamiento; HT sto: Almacenamiento de calefacción; Dec sto: Almacenamiento descentralizado; Heat HT: Bombas de calefacción; Refrig. cycles: Ciclos de refrigeración; Gasif to HVC: Gasificación para químicos de alto valor; Electrolyser: Electrolizador; HVC: Productos químicos de alto valor; DHN: Redes de calefacción urbana; H2 prod: Producción de hidrogeno verde; DHN Sto: Almacenamiento para redes de calefacción urbana; H2 sto: Almacenamiento de hidrogeno verde; H2: Hidrogeno verde; Mob public: Movilidad pública; Heat LT DHN: Calefacción para distritos centralizados; Loss DHN: Perdidas de redes de calefacción urbana; Heat LT Dec: Calefacción para distritos descentralizados; Freight: Transporte; Non-energy demand: demanda no energética; Elec demand: Demanda eléctrica; Curt: Cortes de energía; Exp & Loss: Exportaciones y pérdidas; Ind Heat Demand: Demanda de calefacción industrial; Mob priv: Movilidad privada; Space cooling: Aire acondicionado; Process cooling: Procesos de refrigeración.

la matriz eléctrica y en el sector del transporte reflejaría un compromiso con la sostenibilidad ambiental y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

Al surgir nuevas tecnologías, se crean diversas oportunidades para que el aparato productivo colombiano se inserte en las cadenas internacionales de valor en torno a la transición energética. Esta puede ser el impulso de la producción y aprovechamiento de hidrógeno verde como energía renovable, la eventual explotación de algunos minerales de transición, siempre y cuando se satisfagan rigurosamente los más estrictos principios de una minería ambientalmente sostenible, además de la operación, mantenimiento y renovación de instalaciones de energía renovable, como lo son las celdas fotovoltaicas.

Referencias

Gauthier Limpens, Stefano Moret, Hervé Jeanmart, Francois Maréchal, EnergyScope TD: A novel open-source model for regional energy systems, Applied Energy, Volume 255, 2019, 113729, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113729>.

Stefano Moret, Michel Bierlaire, François Maréchal, Strategic Energy Planning under Uncertainty: a Mixed-Integer Linear Programming Modeling Framework for large-Scale Energy Systems, Editor(s): Zdravko Kravanja, Miloš Bogataj, Computer Aided Chemical Engineering, Elsevier, Volume 38, 2016, Pages 1899-1904, ISSN 1570-7946, ISBN 9780444634283, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63428-3.50321-0>.

Codina Gironès, Victor & Moret, Stefano & Maréchal, François & Favrat, Daniel, 2015. "Strategic energy planning for large-scale energy systems: A modelling framework to aid decision-making," Energy, Elsevier, vol. 90(P1), pages 173-186.

Vega Araújo, J., & Muñoz Cabré, M. (2023). Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022. SEI Brief. Stockholm Environment Institute. <https://doi.org/10.51414/sei2023.016>