

PLANIFICAR PARA MÚLTIPLES FUTUROS: DESAFÍOS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN BRASIL

POR: THIAGO PRADO, PRESIDENTE DE LA EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE)

Una característica central del sector energético brasileño es su diversidad. Brasil reúne una matriz con elevada participación renovable, una base hidroeléctrica relevante, recursos solares y eólicos de gran escala, experiencia acumulada en biocombustibles, reservas de petróleo y gas natural, biomasa, minerales estratégicos y una tradición de planificación energética.

Esa combinación es una ventaja, pero no una garantía. La transición no se sostiene únicamente en la disponibilidad de recursos: exige instituciones, información, infraestructura, regulación, financiamiento y coordinación.

En un sector intensivo en capital, con activos de larga maduración y expuesto a incertidumbres tecnológicas, climáticas, geopolíticas y regulatorias,

planificar no significa predecir el futuro, sino preparar decisiones robustas frente a diferentes futuros posibles. La Empresa de Pesquisa Energética (EPE) contribuye a ese proceso mediante estudios, escenarios y referencias técnicas transparentes que apoyan la formulación y evaluación de la política energética brasileña y la planificación de su infraestructura.

Brasil parte de una posición favorable. Entre 2015 y 2024, la Oferta Interna de Energía creció, en promedio, 0,8% al año y alcanzó 322 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

En el mismo periodo, la participación conjunta de petróleo y gas natural cayó de 50,8% a 43,7%, mientras la participación renovable aumentó de 42% a 50%. En la matriz eléctrica, solar y eólica pasaron de 3,5% a 23,4%, y la generación renovable de 74% a 88%.



Una transición de escala

La transición brasileña será, ante todo, una transición de escala. En el horizonte decenal, el consumo final de energía pasa de aproximadamente 301 Mtep en 2025 a 360 Mtep en 2035; la electricidad aumenta su participación de 21,3% a 23,5%, y el gas natural de 13,0% a 15,3%.

En el largo plazo, los escenarios del PNE 2055 indican que la demanda total puede crecer entre 1,6 y 2,0 veces respecto de 2025, mientras la carga eléctrica puede alcanzar entre 2,6 y 4,2 veces el nivel actual. El sistema será más grande, más eléctrico, más digital, más descentralizado y más complejo.

Ese crecimiento deberá ocurrir sin perder la principal ventaja competitiva brasileña: una matriz limpia, diversificada y renovable.

En el PDE 2035, la Oferta Interna de Energía aumenta de 329,6 Mtep a 411,9 Mtep y mantiene una participación renovable del orden de 51%.

Flexibilidad, clima y nuevas cargas

La expansión eléctrica ilustra esta diferencia. La capacidad instalada pasa de 249 GW en 2025 a 359 GW en 2035, un aumento de 110 GW. El desafío no es solo ampliar capacidad: el sistema necesitará energía, potencia, flexibilidad y almacenamiento.

En 2055, los vectores de flexibilidad ganan escala: las hidroeléctricas pueden aportar entre 137 y 141 GW, las centrales térmicas flexibles entre 32 y 72 GW, el almacenamiento centralizado entre 39 y 97 GW y los recursos energéticos distribuidos (incluidos respuesta de la demanda y almacenamiento detrás del medidor, entre 26 y 72 GW).



- Revisión y normalización de redes eléctricas
- Puesta en servicio de sistemas de medición de energía semiindirecta e indirecta
- Acompañamiento a clientes comerciales e industriales en toda la región



El crecimiento eólico y solar también exige reconocer que no toda la energía potencial podrá utilizarse en todo momento. Restricciones de transmisión, excedentes horarios y límites operativos pueden producir vertimientos o reducciones de generación. La respuesta combina redes, almacenamiento, gestión de la demanda, señales económicas y mejor coordinación entre expansión y operación.

El cambio climático añade una nueva dimensión a estas necesidades. La EPE desarrolla metodologías para incorporar a los modelos de expansión y operación diferentes trayectorias de temperatura, precipitación, viento, irradiación solar y caudales, evaluando sus efectos simultáneos sobre la generación renovable y la demanda.

Para sistemas hidroeléctricos, fenómenos como ‘El Niño’ y ‘La Niña’ ya evidencian cómo cambios en lluvia y temperatura afectan los aportes hidrológicos, el consumo y las necesidades de respaldo.

“Frente al cambio climático, la EPE desarrolla metodologías para incorporar a los modelos de expansión y operación diferentes trayectorias de temperatura, precipitación, viento, irradiación solar y caudales, entre otros”

El desafío es combinar esa variabilidad histórica con posibles cambios estructurales del clima, evitando que las decisiones futuras dependan exclusivamente de patrones del pasado.

Las grandes cargas son otro símbolo de este contexto. Durante la elaboración del PDE 2035, los procesos de conexión a la Red Básica sumaban 54,2 GW hasta 2038: 26,3 GW de data centers y 27,9 GW de proyectos de hidrógeno y amoníaco. El volumen equivale a cerca del 52% del pico actual de carga, estimado en aproximadamente 104 GW.



En 2055, los data centers podrían consumir hasta 300 TWh, la producción de hidrógeno 220 TWh y las tecnologías de remoción de carbono 150 TWh. La planificación deberá responder no solo cuánta energía será necesaria, sino dónde, cuándo y bajo qué condiciones podrá suministrarse.

Recursos, tecnologías e inversiones

La transición también aumenta la centralidad de los minerales. En el horizonte decenal, el uso de minerales críticos para generación eléctrica pasa de 1,0 millón de toneladas en 2025 a 1,6 millón en 2035, un aumento de 60% para una expansión de capacidad de casi 45%.

La transmisión agrega cerca de 2 millones de toneladas de acero y aluminio y casi 29 mil kilómetros de líneas. En el largo plazo, la demanda relativa de minerales para generación puede multiplicarse por 7,1, y la asociada a baterías y movilidad por hasta 25.

Para Brasil, estos datos combinan un desafío de suministro con una oportunidad industrial: será necesario considerar materiales e infraestructura e identificar posibilidades realistas de transformación mineral y desarrollo productivo.



Algo similar ocurre con los biocombustibles. En el PDE 2035, la oferta de etanol pasa de 37,9 mil millones de litros en 2025 a 50,5 mil millones en 2035, con crecimiento medio de 2,9% al año. El etanol de maíz puede alcanzar cerca de 32% de la oferta total.

En biodiésel, la capacidad de producción pasa de 14,7 a 16,2 mil millones de litros, mientras la demanda de mezcla obligatoria aumenta de 10,1 a 13,9 mil millones. La oportunidad es convertir esa experiencia en biocombustibles avanzados, biometano, combustibles sostenibles de aviación y otras soluciones de menor intensidad de carbono.

El PNE 2055 también señala opciones que pueden ganar relevancia. Las tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS), incluida su asociación con la bioenergía (BECCS), pueden contribuir a la descarbonización de sectores de difícil abatimiento y, en determinadas configuraciones, a emisiones netas negativas.

El plan examina además recursos todavía sujetos a mayores incertidumbres, como la geotermia y el hidrógeno natural.

Incorporarlos a los escenarios no significa anticipar tecnologías vencedoras, sino identificar potenciales, necesidades de investigación, condiciones regulatorias e infraestructura para su evaluación futura. La transición tampoco elimina la necesidad de planificar petróleo, gas natural y derivados.

En la próxima década, la producción brasileña de petróleo puede crecer hasta 30%, con el presal representando alrededor del 76% en 2035, mientras la producción de gas puede aumentar cerca de 95%.

Aun así, el país seguirá siendo importador neto de derivados, especialmente diésel, nafta y combustible de aviación. La demanda total de gas puede alcanzar 218 millones de m³ por día, con crecimiento anual de 6,2%, en una composición con menos Bolivia, más producción nacional y más GNL. La seguridad depende no solo de la disponibilidad de recursos, sino de refino, procesamiento, transporte, importación y conexión efectiva con los mercados.

En el horizonte decenal, las inversiones estimadas alcanzan US\$648.000 millones: US\$522.000 millones en petróleo y gas natural; US\$110.000 millones en electricidad y US\$21.300 millones en biocombustibles líquidos. En el sector eléctrico, corresponden US\$73 mil millones a generación centralizada; US\$21 mil millones a generación distribuida y US\$23 mil millones a transmisión. Estas cifras muestran que la transición es también una agenda de infraestructura, financiamiento y competitividad.

“En la próxima década, la producción brasileña de petróleo puede crecer hasta 30%, mientras la producción de gas puede aumentar cerca de 95%”

Planificación adaptativa y lecciones para la región

Los estudios de planificación cumplen una función que va más allá del diagnóstico. El PDE 2035 aproxima la planificación al ciclo de inversión, la suficiencia y el seguimiento del sistema; el PNE 2055 explora escenarios, riesgos y alternativas de largo plazo. Ninguno elimina la incertidumbre: ambos la hacen visible y permiten decisiones más robustas.

Esto exige una planificación adaptativa, con monitoreo de la demanda, costos tecnológicos, infraestructura, evolución climática, madurez de proyectos y mercados. Cuando esos indicadores se apartan de las hipótesis originales, las estrategias deben poder revisarse sin reconstruir completamente la política energética.

La transparencia es parte ese enfoque. Publicar premisas, metodologías, sensibilidades y resultados permite que gobiernos, reguladores, inversionistas, empresas y sociedad comprendan tanto las conclusiones como las incertidumbres. La planificación gana legitimidad cuando organiza los riesgos para mejorar las decisiones.

Las trayectorias energéticas latinoamericanas son distintas y ninguna experiencia puede trasladarse automáticamente. Sin embargo, el caso brasileño permite identificar cinco lecciones. La planificación debe ser una capacidad permanente del Estado, apoyada en instituciones técnicas, datos confiables, metodologías transparentes y revisión periódica de escenarios.

La expansión renovable debe coordinarse con redes, flexibilidad, almacenamiento y gestión de la demanda. Y la seguridad energética debe evaluarse de manera integrada, considerando electricidad, combustibles, gas, logística e infraestructura.

También es necesario incorporar tempranamente nuevas demandas. Data centers, hidrógeno, movilidad eléctrica y nuevas industrias pueden alterar rápidamente la geografía del consumo. Finalmente, un plan solo produce valor cuando sus diagnósticos se traducen en regulación, licitaciones, permisos, señales económicas, proyectos financiables y seguimiento. Planificar no es publicar un documento, sino conectar conocimiento, decisión y ejecución.



Brasil y Colombia poseen estructuras diferentes, pero comparten desafíos vinculados a la hidrología, 'El Niño' y 'La Niña', la variabilidad climática, la diversificación, las redes, la disponibilidad de gas y la confiabilidad. En sistemas con elevada participación hidroeléctrica, diversificar significa construir resiliencia y evaluar conjuntamente los efectos del clima sobre generación, demanda e infraestructura.

La integración energética regional también puede funcionar como instrumento de gestión de riesgos. Las interconexiones eléctricas y los mecanismos de intercambio permiten aprovechar complementariedades hidrológicas, horarias y estacionales, exportar excedentes en períodos de abundancia e importar energía durante situaciones de escasez.

La transición energética no es una elección entre fuentes. El futuro será, en proporciones distintas, renovable, eléctrico, molecular, digital, descentralizado y más eficiente. Brasil posee ventajas reales, pero deberá transformar abundancia en infraestructura, potencial en proyectos, estudios en señales y señales en inversiones.

Planificar no es elegir un único futuro: es preparar el sistema para navegar muchos futuros con seguridad, competitividad, sostenibilidad e inclusión. ▲▲

Nota: Los datos históricos y las proyecciones presentados en este artículo se basan principalmente en el Balance Energético Nacional 2025, el Plan Decenal de Expansión de Energía 2035 y los estudios del Plan Nacional de Energía 2055, elaborados por la EPE.

*Ingeniero Electricista de la Universidad de Brasilia; Maestría en Energía de la Universidad de São Paulo; Doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Brasilia; fue Director del Departamento de Concesiones de Transmisión, Distribución e Interconexiones Internacionales del Ministerio de Minas y Energía (MME) de Brasil; Especialista en infraestructura eléctrica y transición energética; Presidente de la EPE desde 2023.