

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Electrificación de la última milla del corredor seco mesoamericano. Solución del nexo agua-alimentación-energía.

Valoración de factores de impacto para reducir las emisiones de carbono del autotransporte de carga en México.

Desafíos e incertidumbres del desarrollo sostenible en la planificación de la energía eléctrica. Un enfoque brasileño.

Vulnerabilidad energética en el área metropolitana de Buenos Aires. Caracterización del consumo y problemáticas en el Barrio Presidente Sarmiento.

Efficient heating of sanitary water with heat pump.

Medición de pobreza y vulnerabilidad energética de los hogares. El caso de la provincia de Río Negro, Argentina.

La coexistencia de energías renovables y convencionales en el partido de Bahía Blanca para el periodo 2013-2018



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Pablo Garcés

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Marcelo Vega

Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). Uruguay.

COMITÉ AD-HONOREM

Andrés Romero C.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

Leonardo Beltrán.

Institute of the Americas. México.

Manlio Coviello.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

Mauricio Medinaceli.

Investigador independiente. Bolivia.

Ubiratan Francisco Castellano.

Investigador independiente. Brasil.

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL

Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS

Pablo Garcés

Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN

Blanca Guanocunga.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

COLABORADORES

Raquel Atiaja.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

REVISORES

José Alonso Mateos.

Universidad Internacional de Valencia. España.

Diego Coronel Bejarano.

Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.

Byron Chilinguina.

Consultor independiente. Ecuador.

Pedro Díaz Fustier.

Universidad Tecnológica de la Habana.

Facultad de Ingeniería Eléctrica. Cuba.

Sergio Fuentes.

Universitat Politècnica de Catalunya. España.

Fabio García Lucero.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Marx Gómez Liendo.

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. (IVIC).

Venezuela.

Luis Guerra Flores.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

María Ibáñez Martín.

*Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur
(IIESS-UNS-CONICET). Argentina.*

José La Cal Herrera.

Universidad de Jaén. España.

Francisco Macías Aguilera.

Universidad de Guanajuato. México.

Marina Yesica Recalde.

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de
Argentina (CONICET).*

Rafael Soria.

Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.

Hugo Zurlo.

Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2021. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)

ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.

Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>

Página web OLADE: www.olade.org

Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995

Fotografía de la portada Wilhem Gunkel en Unsplash. Fotografía
de la contraportada Alexander Schimmeck en Unsplash.

Diseño de la portada y contraportada Ana María Arroyo.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad
de los autores y no comprometen a las organizaciones
mencionadas.



DESAFÍOS E INCERTIDUMBRES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA PLANIFICACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. UN ENFOQUE BRASILEÑO

CHALLENGES AND UNCERTAINTIES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ELECTRICAL PLANNING. A BRAZILIAN APPROACH

Vinicius Silva ¹, Stefania Relva ², Miguel Udaeta ³, André Gimenes ⁴, Drielli Peyerl ⁵

Recibido: 31/07/2020 y Aceptado: 05/11/2020

ENERLAC. Volumen V. Número 1. Junio, 2021 (50 - 75)

ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Agustin Diaz Gargiulo de Unsplash.

1 Universidad de Sao Paulo. Brasil.
vinicius.oliveira.silva@usp.br
<https://orcid.org/0000-0001-8894-2200>

2 Universidad de Sao Paulo. Brasil.
stefania.relva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0261-9144>

3 Universidad de Sao Paulo. Brasil.
udaeta@pea.usp.br
<https://orcid.org/0000-0002-7323-3302>

4 Universidad de Sao Paulo. Brasil.
gimenes@pea.usp.br
<https://orcid.org/0000-0001-7903-4139>

5 Drielli Peyerl. Universidad de Sao Paulo. Brasil.
dpeyerl@usp.br
<https://orcid.org/0000-0003-4466-1284>

RESUMEN

Este trabajo evalúa la planificación energética desde la perspectiva de la seguridad ambiental, con el objetivo principal de identificar las principales incertidumbres y desafíos que deben enfrentarse al planificar una matriz eléctrica que satisfaga las premisas de un desarrollo sostenible y limpio. Para esto, se discute metodológicamente el concepto de planificación energética, seguridad energética y desarrollo limpio y sostenible, se presenta el paradigma actual del desarrollo energético mundial y el proceso actual de planificación eléctrica brasileña. Como resultado principal, se presentan las principales incertidumbres relacionadas con la planificación energética que apunta al desarrollo sostenible y se concluye que el establecimiento de herramientas para sistematizar la información ambiental e identificar la posición de los tomadores de decisiones es esencial para la consolidación de la información necesaria para el establecimiento de una planificación energética consistente y adaptable dirigida al desarrollo sostenible.

Palabras clave: Energía Eléctrica, Electricidad, Planificación Energética, Desarrollo Sostenible, Seguridad Energética, Brasil.

ABSTRACT

This work assesses the energy planning from a perspective of sustainable development, with the main objective being to identify the main uncertainties and challenges to be faced in reaching an electric offering planning that satisfies the assumptions of sustainable and clean development. For this, the concepts of energy planning, energy security and clean and sustainable development are discussed. The current paradigm of global energy development and the current process of Brazilian electric planning is also presented and analyzed. A result we discuss the main uncertainties linked to an energy planning that aims at the sustainable development. It is concluded that the establishment of tools of systematization of environmental information and of identification of stakeholder's interests is essential for an information gathering for the establishment of consist and suitable energy planning aimed at sustainable development.

Keywords: *Electric Power, Electricity, Energy Planning, Sustainable Development, Energy Security, Brazil.*

INTRODUCCIÓN

La compatibilidad de los aspectos ambientales con el desarrollo humano se ha internacionalizado principalmente desde 1980 (Grimoni et al., 2015). Luego, por los avances y la consolidación de la discusión sobre el cambio climático, que se ha producido de manera efectiva en el siglo XXI, incluso cambiando la perspectiva de la planificación energética (PE), anteriormente centrada en el uso de fuentes como el petróleo y el carbón (Romano, 2014). Actualmente, este cambio se centra en los impactos de la generación de energía relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente como resultado del uso de combustibles fósiles.

En Brasil, el sector eléctrico brasileño ha sido considerado uno de los más limpios del mundo debido al uso de plantas hidroeléctricas (Santos et al., 2008). Sin embargo, el aumento en el uso de plantas termoeléctricas (UTE) para la generación de energía alimentada por combustibles fósiles, ha sido objeto de preguntas sobre las políticas brasileñas adoptadas por el gobierno. Sin embargo, el establecimiento de directrices para el desarrollo sostenible (DS) del sector de la energía eléctrica no debe guiarse solo por el calentamiento global. También es necesario discutir los impactos locales de cada fuente de energía, así como los requisitos de seguridad energética del país. En el caso específico de Brasil, la construcción y uso de plantas hidroeléctricas ha causado numerosos impactos, principalmente locales, a través de la amplia interferencia en ambientes terrestres, acuáticos y antrópicos donde se insertan (Leturcq, 2016). Por otro lado, los impactos de las UTE están directamente relacionados con la emisión de contaminantes atmosféricos y GEI.

En las últimas décadas, los acuerdos internacionales han contribuido a que los países desarrollados y en desarrollo adopten medidas significativas relacionadas con el problema del cambio climático. Vale la pena mencionar

algunas acciones y acuerdos, tales como: *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) 1988, que proporciona al mundo información principalmente científica relacionada con el riesgo del cambio climático; Protocolo de Kyoto 1997-2005 con el intento de establecer Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) (Kanayama, 2007); y Acuerdo de París 2015 con el objetivo central de fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático. Para lograr los objetivos de los acuerdos internacionales y las metas establecidas por el país para disminuir los GEI (United Nations, 2015). El sector energético ha sido uno de los principales focos para adoptar estrategias que contribuyan a la reducción de estas emisiones. Una de las principales alternativas ha sido la sustitución de energías fósiles por energías renovables. Sin embargo, en Brasil el escenario de mayor demanda de energía eléctrica en las próximas décadas, acompañado de una reducción en la construcción de centrales hidroeléctricas con grandes embalses de regularización y un incremento en el uso de fuentes renovables variables demandará un mayor uso de fuentes despachables, como las térmicas, combustibles fósiles, lo que debería conducir a un aumento de las emisiones del sector eléctrico brasileño, como viene ocurriendo en los últimos años.



Existe una gran demanda acumulada de energía, es decir, más de 1 billón de personas sin acceso a la electricidad y alrededor de 3 billones que usan biomasa para cocinar.

Según el contexto descrito anteriormente, el objetivo del trabajo es identificar las principales incertidumbres y desafíos para una matriz eléctrica que satisfaga las premisas de un desarrollo sostenible y limpio. Con este fin, considerando los impactos globales y locales de la PE que se adoptará, se analiza el contexto global de la transición y la seguridad energéticas para analizar las posibles rutas de bajas emisiones de la matriz eléctrica brasileña. Para este fin, el trabajo se divide en seis secciones: Introducción; Discusión de los conceptos de DS; Análisis de los conceptos de PE, seguridad energética y el contexto internacional actual de transición energética; Presentación del actual proceso brasileño de planificación energética; Sistematización e identificación de las principales incertidumbres y desafíos de la planificación electroenergética dirigida al desarrollo sostenible; y Conclusión.

UN ANÁLISIS DE LAS INCERTIDUMBRES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

El punto de referencia de la conceptualización de DS se produce en el Informe Brundtland, que se entiende como *“que satisface las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (United Nations, 1987). Esta definición amalgama las premisas de cualquier planificación dirigida al DS. El concepto, sin embargo, se formó de manera genérica. Las necesidades de las generaciones futuras son inciertas y difíciles de medir dado el contexto de la evolución tecnológica y la mayor demanda de energía para mantener y expandir el estilo de vida contemporáneo. Además, con respecto a la capacidad actual para satisfacer las necesidades de la sociedad contemporánea, que tiene la energía como un insumo esencial para el mantenimiento del desarrollo, se enfatiza que existe una gran demanda acumulada de energía, es decir, más de 1 billón de personas sin acceso a la electricidad y alrededor de 3 billones que usan biomasa para cocinar (IRENA, 2017).

En esta línea, la relación entre DS y el medio ambiente implicaría la constancia del stock de capital natural o implicaría la no necesidad de preservar el stock actual de recursos, ya que, a medida que ocurre el desarrollo tecnológico, la composición básica del activo correspondiente al desarrollo humano se altera (Udaeta, 1997). Esta reflexión impregna las dos líneas principales de argumentación (no entusiasta y entusiasta) de la PE, que apunta a un desarrollo limpio. Si, por un lado, se cree que el cambio climático causará impactos catastróficos en la vida humana y, por lo tanto, el cambio en el paradigma del desarrollo es urgente, por otro lado, se argumenta que la humanidad, a través del desarrollo tecnológico y su alto nivel de adaptabilidad y resiliencia, encontrarán formas de mantener el desarrollo, ya sea ante un nuevo clima o mediante acciones de mitigación.

Sin embargo, el concepto de sostenibilidad no se refiere solo a la emisión de GEI. Los análisis de DS son tradicionalmente el conjunto de análisis de aspectos sociales, ambientales y económicos (Bellen, 2002; Vera and Langlois, 2007). Si, por un lado, las necesidades de las generaciones futuras pueden no satisfacerse debido a los cambios en el clima, por otro lado, las necesidades de las generaciones presentes y futuras pueden no satisfacerse debido a otros daños ambientales e impactos sociales causados por el proceso actual de desarrollo.

El término desarrollo limpio se encuentra en la bibliografía constantemente vinculada al MDL establecido por el protocolo de Kyoto. El protocolo no establece un concepto para el término, sin embargo, siempre está vinculado al desarrollo libre de emisiones o con emisiones mínimas de GEI. Por lo tanto, en este trabajo, se establece que el concepto de desarrollo limpio está vinculado a un desarrollo que no causa daños catastróficos al planeta debido al cambio climático, sin comprometer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, es decir, que al límite es sostenible.

Con respecto a la proporción catastrófica del cambio climático, varios estudios discuten las incertidumbres con respecto a la métrica de la interferencia antrópica peligrosa, que actualmente se establece como un aumento de más de 2 °C en la temperatura global por encima de la registrada en la revolución preindustrial en 2100 (IPCC, 2014). Hansen et al. (2007) llaman la atención sobre la dificultad de definir qué es peligroso y el poco esfuerzo de la comunidad científica para establecer este patrón debido a la arbitrariedad de los factores que se definirán para determinar las consecuencias del aumento de la temperatura en los ecosistemas naturales, debido a la incertidumbre en la determinación del forzamiento radiactivo en el período preindustrial y en la correlación entre el aumento de la temperatura y la fusión de los glaciares. Sin embargo, los autores concluyen que cualquier estabilización de CO_{2eq} por encima de 450 ppm en la atmósfera ya se considera peligrosa y que esto significaría un aumento de 1 °C en la temperatura global en relación con el nivel de revolución preindustrial.

La Tabla 1 presenta la relación entre la concentración de CO_{2eq} en la atmósfera, el aumento de temperatura a lo largo del siglo XXI y la reducción necesaria de emisiones establecida por el IPCC (2014), en el cual es posible verificar tres elementos principales y sus incertidumbres: (i) el nivel de reducción de emisiones necesario para alcanzar ciertos niveles de concentración de GEI en la atmósfera; (ii) el nivel de reducción, lo que implicaría cambios drásticos en el paradigma de desarrollo actual, tan dependiente de los combustibles fósiles (Hansen et al., 2007; IPCC, 2014), (Fonseca, 2011; OECD/IEA & IRENA, 2017); y (iii) la relación entre el aumento de la temperatura y el nivel de concentración de GEI. Como las premisas adoptadas por diferentes científicos del clima varían, los resultados terminan con una amplia gama de incertidumbres. Además de las tres limitaciones mencionadas anteriormente, las incertidumbres ya mencionadas con respecto a la determinación de que el aumento de temperatura significa una interferencia antrópica peligrosa.

Tabla 1. Relación entre la concentración de CO_{2eq} en la atmósfera, el aumento de la temperatura y la mitigación de las emisiones

Concentración de CO _{2eq} en 2100 (ppm)	Cambio en la cantidad de emisiones en comparación con 2100		Probabilidad de aumento de temperatura durante seg. XXI en relación con el período preindustrial (%)			
	2050	2100	1,5 °C	2 °C	3 °C	4 °C
450 (430 a 480)	-72% a -41%	-118% a -78%	0-50	66-100	66-100	66-100
500 (480 a 530)	-57% a -42%	-107% a -73%	0-33	50-100	66-100	66-100
	-55% a -25%	-114% a -90%	0-33	33-66	66-100	66-100
550 (530 a 580)	-47% a -19%	-81% a -59%	0-33	0-50	66-100	66-100
	-16% a 7%	-183% a -86%	0-33	0-50	66-100	66-100
(580 a 650)	-38% a 24%	-134% a -50%	0-33	0-50	66-100	66-100
(650 a 720)	-11% a 17%	-54% a -21%	0-33	0-33	50-100	66-100
(720 a 1000)	-18% a 54%	-7% a 72%	0-33	0-33	0-50	66-100
>1000	-52% a 95%	74% a 178%	0-33	0-33	0-33	0-50

Fuente: IPCC, 2014

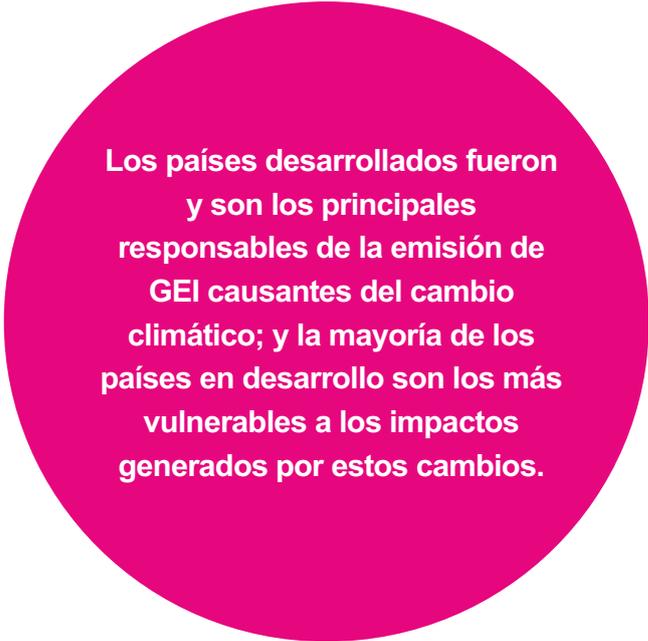
Dadas las incertidumbres de un marco científico con tantas variables y peculiaridades, otro desafío es la capacidad de interpretar esta información científica para la sociedad en general (Hansen et al., 2007). Aunque las actividades de la comunidad científica internacional, los acuerdos políticos, el establecimiento de objetivos para la reducción de GEI y las convenciones climáticas llevadas a cabo por las Naciones Unidas en las últimas décadas, ciertamente promovieron el aumento de la conciencia de la población sobre los problemas climáticos (Fonseca, 2011), medir la percepción de la sociedad sobre los riesgos y peligros del cambio climático sigue siendo un desafío.

Sobre este desafío Fonseca (2011) analiza dos elementos: diferencias temporales y geográficas. Las diferencias temporales corresponden a la dificultad de comprender que las emisiones generadas hace décadas tienen un efecto sobre el comportamiento climático actual y que la continuación de los niveles actuales de emisiones puede generar impactos catastróficos a finales de siglo, lo que resulta en un aplazamiento sucesivo en la adopción de medidas preventivas. En relación con las diferencias geográficas, se invoca el concepto de la tragedia de los bienes comunes (Elinor Ostrom et al., 2002; Fonseca, 2011), cuando el bien es común, y la forma de preservarlo es privatizarlo o establecer objetivos para usos que todos deben obedecer. Si ninguna de estas acciones se toma, la perspectiva es que cada individuo o nación usará su parte de ese recurso lo más rápido posible ya que, si no lo hace, otros lo harán.

En este sentido, se discute mucho sobre la responsabilidad de los países desarrollados y en desarrollo en la reducción de las emisiones de GEI. Los países desarrollados fueron y son los principales responsables de la emisión de GEI causantes del cambio climático; y la mayoría de los países en desarrollo son los más vulnerables a los impactos generados por estos cambios, ya sea debido a su posición geográfica o la menor capacidad financiera para adoptar medidas de adaptación (IPCC, 2014), (Fonseca, 2011; OECD/

IEA, 2015). Los países subdesarrollados, además de no haber sido los principales emisores de GEI per cápita en el pasado, se encuentran en una condición de demanda de energía.

Este contexto de la dicotomía entre promover el acceso a la energía necesaria para el desarrollo y la reducción de las emisiones de GEI conduce a la discusión actual sobre la disonancia entre la seguridad energética y la seguridad climática. Este tema ha sido ampliamente discutido por entidades gubernamentales e intergubernamentales (IRENA, 2017; OECD/IEA, 2015; OECD/IEA and IRENA, 2017) y la academia (Bazilian et al., 2011; Fonseca, 2011; Frei, 2004; Narula, 2014; Romano, 2014; Stram, 2016). El tema de la seguridad energética versus la seguridad ambiental es tan complejo y plural en los elementos de discusión que, para analizar cómo la PE y específicamente la electricidad encajan en este tema, es necesario recurrir a los conceptos y definiciones de seguridad energética y planificación y comprender cómo estos conceptos abarcan o no la seguridad climática.



Los países desarrollados fueron y son los principales responsables de la emisión de GEI causantes del cambio climático; y la mayoría de los países en desarrollo son los más vulnerables a los impactos generados por estos cambios.

PLANIFICACIÓN Y SEGURIDAD ENERGÉTICAS: LAS DIFICULTADES QUE ENFRENTA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Planificación energética

El concepto de planificación implica la percepción e identificación de las posibilidades del futuro y la convicción de que a través de la planificación es posible anticipar ese futuro, utilizando los recursos más variados para lograr los objetivos establecidos (Udaeta, 1997). La planificación se puede sistematizar en tres etapas principales: (i) establecimiento de objetivos y metas, a través de la planificación estratégica; (ii) diagnóstico de la situación pasada y actual mediante la sistematización de la mayor cantidad de datos posible, a fin de examinar el problema en todos sus aspectos, a través de la planificación táctica; y (iii) establecer políticas o planes que determinen qué hacer, cómo hacerlo y cuándo hacerlo para lograr los objetivos (Cima, 2006; Udaeta, 1997).

Dado el largo tiempo de implantación de la infraestructura de la cadena del sector energético, es necesario e inevitable que la planificación estratégica se lleve a cabo a largo plazo, con adaptaciones periódicas de las proyecciones adoptadas a corto y mediano plazo. En este sentido, la alteración de un sistema energético o una transición energética se convierte en el trabajo de décadas, dada la inflexibilidad de las infraestructuras construidas durante el desarrollo del sector y, dada la importancia de la energía y el mantenimiento de su suministro para el desarrollo de toda la sociedad (Fonseca, 2011).

Por lo tanto, en términos generales, el objetivo de la PE es asegurar la seguridad energética. Teniendo en cuenta el objetivo de este estudio, que es identificar las incertidumbres y desafíos de la planificación electroenergética que apunta a un desarrollo limpio y sostenible, el concepto de seguridad energética y su relación con el cambio climático es necesario incluso con toda su complejidad.

Seguridad energética

La seguridad energética no tiene una sola definición. Los conceptos varían según la realidad de los Estados y la escala de tiempo utilizada (Bazilian et al., 2011; Fonseca, 2011). Además, el concepto debe analizarse en varios niveles, desde el global para garantizar la adecuación de los recursos, hasta el regional para garantizar que el país garantice su seguridad nacional de suministro y satisfaga las demandas de los consumidores. Laponche (2001) analiza el concepto como: (...) garantizar, para el bien público y para el funcionamiento eficiente de la economía, la disponibilidad física ininterrumpida de energía en el mercado a precios competitivos para todos los consumidores, en el marco del objetivo de desarrollo sostenible previsto en el Tratado de Ámsterdam de 1997. El Centro de Investigación de Energía de Asia Pacífico entiende la seguridad energética basada en cuatro elementos: disponibilidad, accesibilidad, aceptabilidad, asequibilidad (financieramente viable) y define que estos cuatro elementos incluyen tres aspectos de la seguridad energética: (i) los aspectos físicos, definido por la disponibilidad y accesibilidad de los recursos energéticos; (ii) los aspectos económicos, definidos por la viabilidad financiera de adquirir la energía; y (iii) aspectos sostenibles, vinculados a la aceptabilidad de las fuentes de energía a utilizar (APEREC, 2007).

Para Yergin (1988), el objetivo de la seguridad energética es garantizar adecuadamente el suministro regular de energía a precios razonables y de manera que no comprometan los objetivos nacionales. De acuerdo con Khatib (2007), su definición puede entenderse como la disponibilidad de recursos locales e importados, que deben satisfacer la creciente demanda de energía a lo largo del tiempo y a precios razonables.

Khatib (2007) también argumenta que la seguridad energética puede garantizarse mediante la adaptación local, las abundantes y

variadas formas locales de recursos energéticos. Sin embargo, para los países con deficiencia de recursos energéticos, la seguridad energética se puede lograr mediante: (i) la capacidad del Estado o los agentes del mercado para utilizar fuentes y productos energéticos externos, que pueden importarse libremente a través de puertos y otros modos de transporte, como las interconexiones transfronterizas de petróleo, gas y líneas de transmisión; (ii) la adecuación nacional o regional, a sus reservas estratégicas para abastecer eventuales interrupciones, escasez o un aumento impredecible de la demanda; (iii) el desarrollo y uso de recursos tecnológicos y financieros y conocimiento para desarrollar fuentes de energía renovable y energía local creando alternativas para satisfacer parte de las demandas locales; (iv) la diversificación de las fuentes de importación y los tipos de combustible; y (v) atención adecuada al cambio climático.

Narula et al. (2017) determinan que el sistema de energía física de un país se puede dividir en tres subsistemas: suministro de energía, conversión y distribución de energía y demanda de energía. Como la seguridad energética se usa a menudo como sinónimo de seguridad del suministro de energía, esta percepción refuerza la importancia de la solidez del subsistema de suministro de energía. Para abordar todos los aspectos relacionados con la seguridad energética y no solo los relacionados con el suministro de energía o el acceso a los recursos energéticos, Vivoda (2010) estableció once dimensiones de análisis, que se consolidaron en ocho grupos, ver Tabla 2. Sovacool (2011), reanudando el trabajo de Vivoda (2010), estableció 20 dimensiones de análisis de seguridad energética que suman 200 atributos. La categoría definida como resiliencia determina varios elementos vinculados al funcionamiento de los sistemas eléctricos que, en el límite, pueden resumirse en la robustez necesaria de las infraestructuras eléctricas para el mantenimiento del suministro en caso de interrupción causada por cualquier externalidad. En ese sentido, Helm (2002) indica que los principales elementos de seguridad de suministro

en el sector eléctrico son: (i) seguridad de suministro y contratos; (ii) seguridad y capacidad marginal satisfactoria de las redes de transmisión y distribución de electricidad y combustible para impulsar las plantas termoeléctricas; (iii) diversidad satisfactoria de recursos.

Metodologías complejas de indicadores asimilan varios aspectos que también corresponden al análisis de la sostenibilidad de los sistemas energéticos. Se percibe la inclusión de elementos de sostenibilidad en los conceptos de seguridad energética. Narula (2014) presenta el concepto de seguridad energética sostenible como la provisión de servicios energéticos ininterrumpidos a corto y largo plazo de manera accesible, equitativa, eficiente y ambientalmente benigna. La dificultad de aplicar este concepto está en la cuestión del análisis ambiental positivo. La necesidad de energía crea presiones sobre el medio ambiente. Por lo tanto, la decisión de impactos menos intensos, de los cuales el medio ambiente y el ser humano pueden ser más resistentes debe ser parte de la planificación energética.

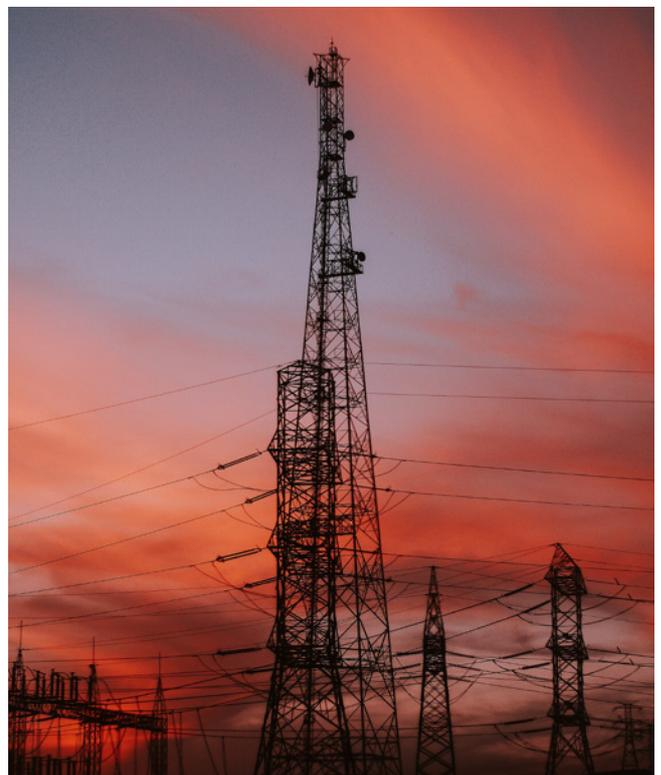


Foto de Caique Silva en Unsplash.

En general, los enfoques para definir la seguridad energética, aunque a menudo se centran en el acceso a los recursos, impregnan diferentes áreas del conocimiento. Månsson et al. (2014) categorizaron las metodologías de análisis de seguridad energética en cinco áreas de conocimiento: economía, ingeniería, ciencias políticas, estudios multidisciplinarios de sistemas y ciencias naturales. Los autores destacaron las fortalezas y debilidades de estas categorías de modelos. Las debilidades analizadas están vinculadas a: las capacidades de los modelos para identificar riesgos, incerti-

dumbres y especificidades vinculadas al análisis de seguridad; la complejidad de recopilar y sistematizar datos e información y el gran sesgo de los análisis de modo que, mientras que los modelos microeconómicos ignoran los efectos macroeconómicos, los modelos de teoría financiera subestiman los efectos a largo plazo, los modelos de ciencias naturales subestiman los aspectos técnicos, los modelos económicos y los modelos de ciencias políticas pueden generar resultados incorrectos si los estados tienen intereses diferentes o los actores no pueden calcular las consecuencias de sus acciones.

Tabla 2. Consolidación de dimensiones vinculadas a la evaluación de la seguridad energética

Dimensiones	(Aperc, 2007)	(Yergin, 1988)	(Khatib, 2007)	(Narula et al., 2017)	(Vivoda, 2010)	(Sovacool, 2011)	(Helm, 2002)	(Narula, 2014)	(Månsson et al., 2014)
Aceptabilidad	•				•				
Accesibilidad	•	•	•	•	•	•		•	•
Capacitación técnica						•			•
Descentralización						•			
Disponibilidad	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Diversificación			•			•	•		•
Gestión del lado de la demanda					•				
Infraestructura de red y modos de transporte			•	•			•		•
Macroeconómica					•	•			•
Mecanismo para controlar y reducir las emisiones de GEI			•			•		•	
Medio ambiente					•	•		•	•
Microeconomía									•
Tarifas bajas		•	•						
Resiliencia						•			
Seguridad jurídica					•		•		•
Tecnología de suficiencia					•	•			•
Viabilidad financiera	•					•			•

Fuente: Elaboración propia

Dificultades ante el cambio climático

Como se puede observar en la Tabla 2, el concepto de seguridad energética varía según el contexto de análisis. Los consumidores y las industrias intensivas en energía se preocupan principalmente por las interrupciones en el suministro y las bajas tarifas. Para los países productores y exportadores de petróleo y gas natural, la atención se centra en la seguridad de los ingresos y las relaciones comerciales. Los países en desarrollo están preocupados por la viabilidad económica del acceso a los recursos energéticos; mientras que los actores políticos se centran en la seguridad de la infraestructura energética y los riesgos de interrumpir el suministro de energía (Fonseca, 2011). Por tanto, el análisis de las posibilidades de alterar la PE debido al cambio climático requiere el análisis de diferentes posibilidades de transición basadas en las decisiones estratégicas de diferentes agentes y Estados (Bicalho, 2014) y en la percepción sobre seguridad energética.

Analizando el cambio climático desde la perspectiva de la tragedia de los bienes comunes y considerando la pluralidad de elementos verificados en los conceptos de seguridad energética, es necesario analizar el contexto geopolítico, político y macroeconómico de los países desarrollados y en desarrollo y los procesos actuales de transición energética a gran escala (Smil, 2010).

EE.UU., por ejemplo, ha aumentado la proporción de gas natural y gases no convencionales en la matriz energética (Bicalho, 2014; Romano, 2014), utilizando estos recursos como un sustituto del carbón mineral, que a su vez ahora se ofrece al mercado internacional en grandes cantidades (Romano, 2014). El aspecto principal de la seguridad energética en los EE.UU. que se ha estado desarrollando, es la autosuficiencia en recursos energéticos (Fonseca, 2011). China ha aumentado la proporción de energías renovables y ha estado buscando proyectos internacionales para explorar los recursos fósiles y

la infraestructura energética con un enfoque en el fortalecimiento de la seguridad energética nacional (Bicalho, 2014; Relva et al., 2015). India aún enfrenta el desafío del acceso a la electricidad para aproximadamente una quinta parte de la población, por lo tanto, renunciar a los combustibles fósiles es un desafío, en un momento en que ni siquiera se obtienen las necesidades mínimas de acceso a la energía (Bicalho, 2014).

Japón, con la energía nuclear como una de las principales fuentes para su seguridad energética, tuvo que reestructurar su planificación energética debido al accidente de Fukushima (Bicalho, 2014), renunciar al uso de energía nuclear y expandir la generación termoeléctrica utilizando gas natural, importando a través de gas natural licuado (BP, 2018; IEA, 2019). El accidente fue incluso un hito en la política energética internacional, lo que resultó en el desuso de esta fuente que se consideraba una de las tecnologías más bajas en carbono (Laponche, 2001; Romano, 2014).

Alemania a su vez estableció el concepto de *Energiewende* que se relaciona con la transición radical de la matriz energética en detrimento del cambio climático (Bicalho, 2014; Romano, 2014). El proceso de transición energética de Alemania hacia el uso de energías renovables fue fuertemente apoyado por la población (Bicalho, 2014), sin embargo, recibió críticas de la industria nacional que argumenta que las energías alternativas no serían confiables para el suministro de la industria y que esta política haría que la industria alemana fuera menos competitiva (Fonseca, 2011; Romano, 2014).

La cuestión de la competitividad económica frente al cambio climático tiene una dinámica compleja.

Romano (2014) evaluó los desafíos de establecer una política baja en carbono frente a la crisis económica de 2008 en la Unión Europea (UE). Basado en la premisa de que el uso de

fuentes renovables y el proceso de transición energética hacen que los costos de energía sean más caros, dada la necesidad de nuevas tecnologías y sistemas logísticos, estableciendo cinco desafíos: (i) con la presión generada en los presupuestos nacionales, la tendencia es que los países centran sus esfuerzos en resolver los problemas económicos y necesidades domésticas más apremiantes; (ii) aunque la planificación a mediano y largo plazo tiene sentido, requiere una inversión que no es viable a corto plazo, esto genera un aumento en la factibilidad de aplicar los objetivos definidos por la UE, disminuyendo la credibilidad de las instituciones; (iii) la crisis abre espacio para la crítica de las políticas bajas en carbono debido a la premisa de precios más altos y debido al efecto de la fuga de carbono fuga de carbono; (iv) los precios del mercado del carbono se desplomaron, interrumpiendo los esfuerzos para invertir en eficiencia energética; (v) con la desaceleración de la economía, las tasas de emisión de GEI disminuyen, esto genera incertidumbres y percepciones erróneas de que el problema de las emisiones de GEI está bajo control o que la reducción de emisiones se debe únicamente a la disminución de la producción y que las políticas y medidas adoptadas no tuvieron efecto.

Niveles definidos como necesarios para la seguridad energética: disponibilidad de recursos energéticos; accesibilidad física a los recursos energéticos; accesibilidad económica a los recursos energéticos; y sostenibilidad ambiental, que debe ser jerarquizada.

Los problemas económicos internos y la seguridad del suministro de energía se han defendido históricamente en relación con las políticas y los planes adoptados a largo plazo y no solo en la UE. Las grandes diferencias entre los objetivos establecidos y los realmente logrados reducen la credibilidad de las instituciones y los planes realizados.

La creciente importancia del carbón mineral en el sistema energético de los países con gran incremento de la demanda energética, como China e India, así como las inversiones en el desarrollo de recursos fósiles no convencionales, son un buen reflejo de la valorización de las prioridades de seguridad energética contra objetivos de seguridad climática (Fonseca, 2011).

Frei (2004), estableció una pirámide de prioridades para las políticas energéticas basadas en la historia de la evolución energética, en la que versa que naciones que aún tienen acceso a la energía comercial como un desafío, no priorizarán la reducción de las emisiones de GEI. El acceso a la energía comercial no es solo el acceso a los recursos energéticos, sino también su capacidad de eliminación. Si el sistema eléctrico depende de generaciones de diferentes recursos, el sistema de transmisión / distribución es parte del criterio para el acceso a la energía comercial. En esta lógica, los problemas de acceso a la energía, seguridad energética, bajos costos, seguridad ambiental y aceptación social no son elementos de consideración y negociación, sino de estructuración jerárquica, de modo que solo es posible satisfacer las necesidades más altas de la pirámide, si las necesidades de la base ya están satisfechas.

Basado en este concepto Fonseca (2011) estableció una estructura jerárquica que contiene cuatro niveles definidos como necesarios para la seguridad energética: disponibilidad de recursos energéticos; accesibilidad física a los recursos energéticos; accesibilidad económica a los recursos energéticos; y sostenibilidad ambiental, que debe ser jerarquizada. El sistema energético

basado en combustibles fósiles está formado por una infraestructura de transporte inflexible, que se ha desarrollado durante casi dos siglos y ha demostrado ser eficaz en comparación con fuentes intermitentes que no tienen capacidad de almacenamiento, como el gas natural y carbón (Fonseca, 2011).

Las formas de promover estas características en un sector energético con una nueva base de recursos incluyen factores tales como: aumentar la previsibilidad de las fuentes intermitentes; invertir en tecnologías robustas para los sistemas de transmisión y transporte de energía; invertir en el desarrollo de combustibles como el hidrógeno; e invertir en tecnologías como plantas hidroeléctricas reversibles y almacenamiento de energía eléctrica (Bicalho, 2014). El gas natural se presenta como un importante combustible de transición energética, reduciendo las tasas de emisión de GEI en relación con el petróleo o el carbón y garantizando el envío necesario a los sistemas eléctricos y el almacenamiento a los sistemas de energía (Bicalho, 2014; Fonseca, 2011; Relva et al., 2015).

Por lo tanto, hay una serie de incertidumbres vinculadas a la PE e incertidumbres aún mayores cuando se pretende definir el peso de la seguridad climática en esta planificación. En este sentido y en el sentido de llevar la PE al DS por un método holístico, se destaca el concepto de planificación integrada de recursos (PIR).

La PIR es una herramienta que coloca las opciones del lado de la oferta y del lado de la demanda juntas en el mismo nivel de condiciones y expectativas. Y de esta manera comienza a elegir el mejor paquete de opciones, de modo que permita la opción de costo mínimo con: la mejora en la protección del medio ambiente; conservación en su sentido más amplio; y mejoras en el transporte y la ubicación (Udaeta, 1997). Los principios y herramientas de PIR se convierten así en la construcción de escenarios alternativos, análisis multicriterio, participación de la comunidad en la planifi-

cación, decisión e implementación del proceso (Bazilian et al., 2011), (Pereira et al., 2005).

Asumiendo que en toda planificación, los riesgos e incertidumbres son intrínsecos (Pereira et al., 2005; Udaeta, 1997), el concepto PIR abarca el análisis de los principales aspectos discutidos sobre el problema “seguridad energética versus seguridad climática”, ya que explica las incertidumbres, así como las compensaciones entre múltiples objetivos, a través del análisis multicriterio y las diferentes posiciones de las partes interesadas, con su participación en la construcción de análisis multicriterio (Bazilian et al., 2011). Sin embargo, el PIR como herramienta y concepto holístico, también requiere y produce la sistematización de numerosos factores e información. Por lo tanto, los mayores desafíos de su aplicación, en términos del PE de una nación, además del deseo político e institucional de aplicarlo, se pueden resumir en (Pereira et al., 2005): (i) dificultad para obtener datos e indicadores relacionados con la demanda, dada la cultura de planificación siempre vinculada a la expansión de la oferta; (ii) resistencia de ciertas partes interesadas, como los concesionarios, en la inclusión de la gestión del lado de la demanda (GLD) en la planificación, debido a intereses económicos vinculados a la venta de energía; (iii) falta de conocimiento por parte de los interesados sobre ciertas nuevas tecnologías, lo que puede llevar a que no se recomienden debido a la falta de conocimiento de la viabilidad técnica y económica; (iv) dificultad para invertir en programas de eficiencia energética; (v) dificultad para incorporar, en la metodología, tecnologías tales como redes inteligentes; y (vi) dificultad para evaluar los impactos sinérgicos y potenciales en el caso de elegir utilizar dos opciones de energía diferentes y geográficamente cercanas.

Por lo tanto, al considerar la participación efectiva de las partes interesadas y GLD en la planificación, la disponibilidad de información sobre los aspectos ambientales de las soluciones energéticas y los aspectos de seguridad ener-

gética es de suma importancia. Mientras no haya un entendimiento claro y un acuerdo sobre el nivel apropiado de seguridad de suministro, los grupos de presión que pueden ser cuestionados por necesidades de orden superior utilizarán la táctica del miedo. En otras palabras, insistirán en que el nivel de seguridad del suministro existente es inadecuado, lo que empeorará el enfoque en cuestiones de oferta / demandas puras, lejos de las necesidades más altas. Una buena comprensión pública de un nivel adecuado de seguridad de suministro debe ser, al menos para los países desarrollados, la base sobre la cual se construye la política energética (Frei, 2004).

Planificación energética brasileña

El proceso de planificación eléctrica brasileña debe entenderse en dos grandes bloques de planificación: (i) la planificación de expansión del sistema y (ii) la planificación de la operación. Esta definición es importante dadas las perspectivas temporales que relacionan estos dos enfoques. La Figura 1 presenta una imagen esquemática de la planificación del sector eléctrico brasileño.

Una de las funciones de la Empresa de Pesquisa Energética (EPE), subordinada al Ministerio de Minas y Energía (MME), es preparar estudios de planificación de expansión (EPE, 2012). El Plano Nacional de Energia (PNE) lo considera como una planificación integrada de recursos, aunque las políticas de gestión en el lado de la demanda no son muy claras, y define los escenarios de demanda y la expansión de la oferta necesaria para suministrarla durante un período de 30 años. El primer PNE, llamado PNE 2030, se lanzó en 2007 y el PNE 2050 está en desarrollo con disponibilidad pública de documentos y notas técnicas vinculadas a suposiciones, pautas y escenarios a largo plazo desde 2018 (EPE, 2018r, 2018n, 2018p, 2018s, 2018c, 2018l, 2018u, 2018d, 2018j, 2018f, 2018h, 2018g, 2018o, 2018q, 2018b, 2018a, 2018i, 2018e, 2018t, 2018m). Sin embargo, el documento final aún no está disponible.

El Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) comenzó a publicarse en 2006 con revisiones anuales (la única excepción fue el año 2016, en el que no se publicó el documento) en la que presenta la indicación y no la determinación de las perspectivas de expansión futura del sector energético desde la perspectiva del gobierno en el horizonte de diez años (Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPDE), 2020).

El Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP) de la transmisión y el Programa de Expansão da Transmissão (PET) no han seguido un criterio temporal. El primero (PET) se publicó en 2006 con un horizonte de 5 años; el primer PELP se publicó en 2012 con un horizonte a partir del sexto año; en 2013 el horizonte PET se cambió a 6 años; la periodicidad de la revisión de los dos estudios es ahora de 6 meses y desde 2015 la EPE ha publicado ambos estudios en el mismo documento; la última publicación fue en 2018. PET/PELP son informes de gestión que contienen todos los trabajos para la expansión del Sistema Interconectado Nacional (SIN), definidos en base a estudios de planificación de EPE, y aún no ofertados o autorizados (EPE, 2018k).

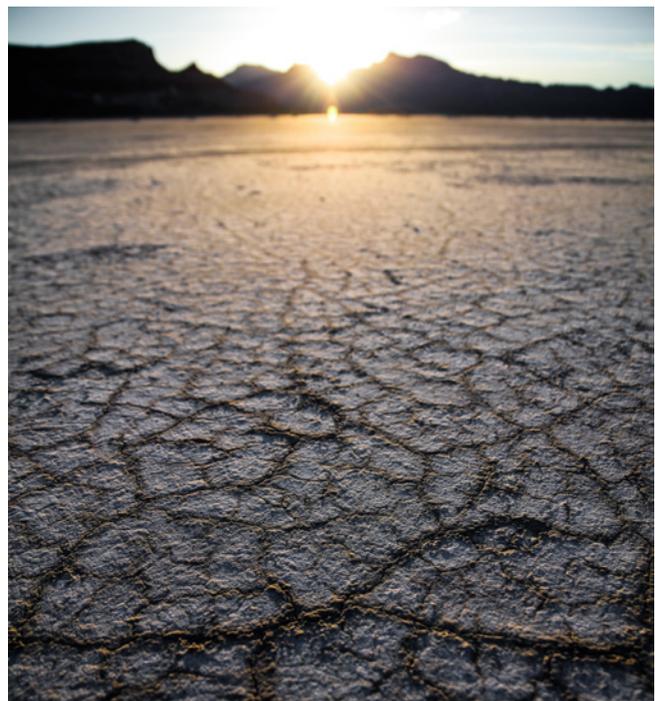
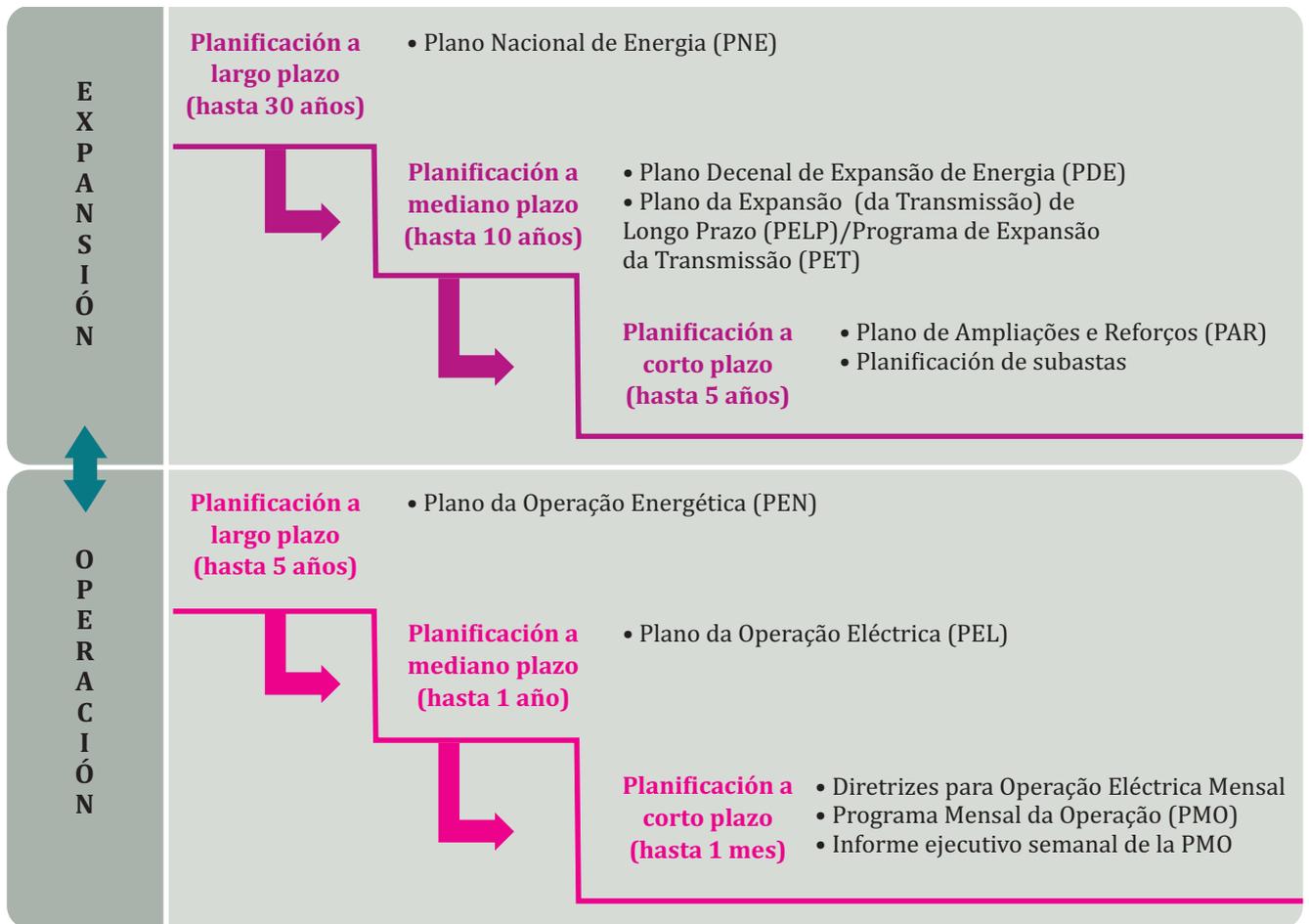


Foto de Patrick Hendry en Unsplash.

Figura 1. Imagen esquemática de la planificación de expansión y operación del sistema eléctrico brasileño



Fuente: Elaboración propia

El conjunto de información del PET y el Plano de Ampliação e Reforços (PAR) de la red básica del Sistema Interligado Nacional (SIN) - producido por Operador Nacional do Sistema Eléctrico (ONS) en un horizonte de dos años hasta 2017 y pasando a un horizonte de cinco años a partir de 2018 - da lugar a la Consolidação de Obras de Transmissão de Energia Eléctrica (POTEE), responsabilidad de MME (ANEEL, 2017). La POTEE subvenciona el proceso de concesión de obras de transmisión realizado por ANEEL, aunque la planificación de la expansión de la transmisión tiene un aspecto de denomi-

nación a largo plazo, se estableció en el esquema de la Figura 1 como planificación a mediano plazo basada en las perspectivas temporales de la planificación de expansión en Brasil.

Es importante tener en cuenta que, dadas las dimensiones continentales del país y debido a la gran integración eléctrica promovida por el SIN y la complejidad de las obras hidroeléctricas (HPP) y la gestión de sus embalses, el sistema eléctrico brasileño fue generado por una configuración única que, desde 2004, ha definido la expansión de la generación mediante mecanis-

mos de subasta. Las nuevas subastas de energía se definen con cinco años de anticipación para las nuevas HPP (A-5), tres años de anticipación para las nuevas plantas termoeléctricas o eólicas y solares (A-3) y un año de anticipación para la contratación de energía. Ya existente (A-1 o A-2) o menos que eso en el caso de subastas de ajuste. En 2017, 2018 y 2019, también se realizaron subastas (A-6) para nueva energía de fuentes hidroeléctricas, termoeléctricas y eólicas. En 2019, se realizó la primera subasta del sistema aislado, para la adquisición de energía y potencia para servir al mercado de consumo en el Estado de Roraima, el único estado brasileño que no está conectado al SIN (CCEE, 2020).

Cabe destacar que las subastas están sistematizadas por EPE, promovidas por MME y coordinadas por ANEEL. La celebración de subastas se define por la situación momentánea en el sector y las fuentes que participan en cada subasta dependen de la política energética establecida, pudiendo participar en subastas de cualquier naturaleza (EPE, 2012). Por otro lado, en línea con la estrategia de desarrollo del gobierno a partir de fuentes renovables y con un bajo nivel de emisiones de GEI, se puede evitar que ciertos tipos de fuentes de combustibles fósiles participen en algunas subastas, como el caso de centrales eléctricas de carbón y fuel oil o diésel.

Las subastas no se han llevado a cabo con periodicidad estandarizada y los criterios para incluir o no las fuentes de energía no están claros (Relva et al., 2015). En muchas de las subastas realizadas, aunque disponibles, las plantas térmicas de gas natural no tuvieron éxito en la contratación. Esto se atribuye a las dificultades de suministro causadas por la falta de consolidación regulatoria en el sector del gas, problemas de logística e infraestructura (Colomer Ferraro and Hallack, 2012; Relva et al., 2015), (Relva et al., 2020) y cuestiones económicas de la transición (Neto and Shima, 2015).

La planificación preparada por EPE es indicativa y no determinante, con la excepción de PET, por lo tanto, actualmente existe una gran discrepancia entre la planificación indicativa y la real. En los últimos años, ha habido una alta penetración de fuentes renovables e intermitentes en la matriz eléctrica, lo que ha generado preocupaciones sobre la calidad de la energía y la seguridad del suministro de energía por parte de ONS, que en su último Plan de Operación Energética (PEN) destaca la necesidad de mejorar la eficiencia energética, subastas de nuevas energías considerando: (i) la compatibilidad de los términos de las obras de generación y transmisión; y (ii) la valoración de los atributos de cada tipo de generación, tales como seguridad de suministro, capacidad de envío, flexibilidad, complementariedad, bajo impacto ambiental, bajas emisiones de GEI y renovabilidad (ONS, 2020).

En términos de operación, todos los planes realizados son responsabilidad de ONS. El PEN tiene un horizonte de 5 años y se revisa anualmente. La primera publicación es 2000 y la última de 2019. El Plano da Operação Elétrica (PEL) tiene un horizonte de 1 año y se publica anualmente desde 2009, con la última publicación en 2018. El *Programa Mensal da Operação* (PMO) se lleva a cabo mensualmente y discretizado en etapas semanales y por nivel de carga, lo que resulta en los Informes Ejecutivos semanales de la PMO publicados desde 2011. La PMO también está vinculada a las pautas para la operación eléctrica mensual que se publica mensualmente desde 2015 y que considera eventos específicos, como: retraso en obras planificadas para el mes, nuevas infraestructuras en el sistema, vacaciones (carnaval, navidad, año nuevo) y eventos específicos (copa mundial y olimpiadas).

Si bien existe una gran coherencia en la periodicidad de publicación de los planes de operación, no ocurre lo mismo con el PET. EPE

indica que el horizonte de PET se cambió a 6 años para acelerar el proceso de licitación para los trabajos de transmisión y mitigar posibles demoras en la implementación de las expansiones. En la planificación de la transmisión, se observa una dificultad para sincronizar la expansión de la transmisión con la de la generación debido a la coyuntura de los nuevos potenciales que se están explorando (EPE, 2018k).

Cuestiones sociales y ambientales del Plan Nacional de Energía

El proceso de elaboración del PNE 2050 sigue la misma metodología adoptada para el PNE 2030. Los estudios se dividen en cuatro bloques: macroeconómico, demanda, oferta, consolidación / estudios finales. Entre los modelos utilizados para preparar el estudio se encuentra el *Modelo de Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico* (PLANEL), desarrollado por EPE y utilizado para definir soluciones para expandir el suministro de energía considerando los costos (generación, transmisión y combustibles) y restricciones operativas y ambiental. Para el PNE 2030, el modelo utilizado para este propósito fue el *Modelo de Expansão de Longo Prazo* (MELP), desarrollado por el Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL). El modelo, según PNE 2030 (EPE, 2007), determina la solución de expansión óptima considerando los costos de generación y expansión de las interconexiones del subsistema. El documento no menciona restricciones socioambientales. Para el PNE 2050, el Modelo de Estimativa de Parâmetros Demográficos (MEDEM) también se utiliza para construir el escenario demográfico, desarrollado por EPE y el Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) y el *Modelo de Projeção da Demanda Residencial de Energia* (MSR), un modelo ascendente desarrollado por COPPE / UFRJ y mejorado por EPE.

La elaboración del PNE 2050 pasó por dos momentos, inicialmente se utilizó el término de referencia para su formulación, en la que se plantea como factores invariables a considerar

en la planificación: institución de mecanismos de gestión ambiental; condicionando las inversiones en proyectos a procesos más largos y rigurosos de evaluación, licenciamiento y monitoreo ambiental, con un impacto en los costos y cronogramas; cambio climático y sus impactos en el suministro de energía, estableciendo objetivos y costos para las emisiones de GEI; creciente participación de las energías renovables en la generación de electricidad; erradicación del hambre y la miseria, entre otros. Todavía señala incertidumbres críticas como la expansión de la base de consumo debido a la reducción de la desigualdad; cambio climático y tecnologías asociadas; inserción de tecnologías bajas en carbono. En cuanto a los escenarios de suministro de energía eléctrica, el término de referencia define la simulación de escenarios de evolución del suministro considerando las condiciones técnico-económicas y socioambientales. Con respecto a los problemas socioambientales, el único aspecto destacado que debe considerarse en las simulaciones son las restricciones de emisiones de GEI para el sector eléctrico. El documento señala que deben discutirse otros aspectos de este tema, tales como: costo de CSC, compensación y mitigación de emisiones, mecanismos de desarrollo limpio (MDL).

En el segundo paso, con miras a la preparación de los estudios PNE 2050, reestructura los subsidios para la preparación del estudio, presentando un nuevo marco que contiene un conjunto de información sobre políticas públicas, supuestos y estudios prospectivos y planes de expansión energética disponibles a mediano y largo plazo en los órganos de administración, directa e indirectamente, del gobierno federal y sus entidades, así como aquellos puestos a disposición por instituciones reconocidas a nivel nacional e internacional en los horizontes a mediano y largo plazo, publicados hasta finales de 2017. En resumen, este marco considera: premisas, restricciones y estudios prospectivos de escenarios nacionales y globales para la planificación a largo plazo; supuestos y estudios prospectivos sobre precios de la energía y

fuentes de energía; estudios prospectivos y de políticas públicas, que tienen una interfaz con el tema de planificación energética a mediano y largo plazo, que cubre temas de transporte y movilidad, desarrollo económico sectorial, seguridad energética, ciudades y saneamiento, suministro y disponibilidad de recursos hídricos, cambio climático, medio ambiente, entre otros. Ampliar la gama de partes interesadas y participar en el proceso de planificación a largo plazo del sector energético brasileño y destacar la importancia de su inserción en el contexto de las políticas públicas y la necesidad de coordinar con otros programas y políticas gubernamentales en sus diversos esferas (EPE, 2018n).

PNE 2030 considera los problemas socioambientales como una variable relevante en la decisión de formular estrategias para expandir el suministro de electricidad, sin embargo, no hay detalles en el plan sobre cómo se cuantificaron estos problemas y cómo contribuyeron al proceso de toma de decisiones. El plan también menciona que los indicadores de sostenibilidad fueron definidos en base al trabajo producido en 1994 por el *Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico* (COMASE). Los indicadores de sostenibilidad se clasificaron en tres temas principales: atmósfera (cambio climático y calidad del aire); agua (calidad del agua, afectada principalmente por la descarga de contaminantes de las actividades mineras) y suelo (cantidad de demanda de área, descarga de contaminantes, degradación y acidificación). El plan también destaca: (i) la incorporación, en el costo de las plantas termoeléctricas, de tecnologías de control ambiental debido a las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y nitrógeno (NO_x); (ii) las actividades de análisis ambiental integrado llevadas a cabo por EPE dentro del alcance de las cuencas hidrográficas y (iii) el uso de una base de datos adaptada del Sistema de Información de Potencial Hidroeléctrico (SIPOT) de ELEKTROBRAS (EPE, 2007).

Consideración de cuestiones socioambientales en el Plan Decenal de Energía

Con respecto a la planificación de la expansión a mediano plazo, PDE 2026 presenta una sección que se refiere a EIA, que se lleva a cabo en tres etapas: 1) análisis espacial de la expansión, 2) temas socioambientales y 3) temas prioritarios de gestión ambiental. El análisis espacial, según el documento, *“señala posibles efectos acumulativos, sinergias y conflictos a escala regional, como resultado de la presión sobre el mismo recurso, en entornos frágiles o, aún, en conflictos con las poblaciones. Por otro lado, el mapeo permite visualizar una posible complementariedad entre las fuentes, contribuyendo al uso eficiente de la expansión (...)”* (EPE, 2017b). En el PDE se abordan diez temas socioambientales y se prepara un análisis de las emisiones de GEI. El documento también incluye un mapa y una matriz que resume los resultados de este análisis ambiental integrado, sin embargo, no hay evidencia en el documento de cuantificar los impactos, tanto de los aislamientos como de los acumulativos, y cómo esta información contribuyó a la toma de decisiones.

El documento establece que la variable ambiental se considera desde las etapas iniciales del proceso de planificación, siendo: (i) los estudios iniciales de líneas de transmisión que evitan el rastreo en áreas sensibles desde el punto de vista socioambiental; (ii) estudios de inventario hidroeléctrico y la mejor alternativa para dividir caídas; (iii) análisis de la complejidad de las unidades de producción de petróleo y gas y estimación del tiempo de licencia. Para la preparación de las próximas PDE, es probable que también utilice datos de las Evaluaciones Ambientales de Áreas Sedimentarias que *“se están iniciando con el objetivo de conciliar futuras actividades de petróleo y gas natural con aspectos socioambientales regionales”* (EPE, 2017b).

La Tabla 3 muestra los indicadores de sostenibilidad definidos por fuente de energía basados en la Nota técnica que hace referencia al análisis socioambiental de las fuentes de energía PDE 2026 (EPE, 2017a). Los indicadores presentes en la tabla son los enumerados en el documento como los principales que se deben considerar para cada fuente, y estos se cuantifican numéricamente en función de los trabajos

previstos en el plan. Sin embargo, el texto de la nota técnica discute otras condiciones ambientales, pero sin cuantificar los impactos, por ejemplo, cuando establece que el consumo de agua en las UTE puede ser significativo, especialmente cuando se trata de plantas en el sureste donde ya existe una gran presión en recursos hídricos, pero no se espera que esto restrinja la expansión.

Tabla 3. Principales indicadores de sostenibilidad considerados por fuente en PDE 2026

Indicador	Tipos de desarrollo						
	UHEs	PCHs	UTE	UTE Biomasa	Viento	Solar	Transmisión
Impactos ambientales							
Pérdida de vegetación nativa	•						
Área utilizada					•	•	
Humedal	•	•					
Transformación del entorno lótico al léntico	•						
Interferencia UC	•				•		•
Emisiones de GEI			•				
Impactos socioeconómicos							
Población afectada	•						
Interferencia en tierras indígenas	•				•		•
Interferencia con los pueblos quilombolas	•						•
Interferencia de infraestructura	•						
Beneficios socioeconómicos							
Generación de empleos en el sitio	•	•	•	•	•	•	•
Generación de empleos en la operación			•	•	•		
Aumento temporal de la recaudación municipal (ISS)	•						
Aumento permanente de los ingresos municipales	•						
Aumento permanente de los ingresos estatales	•						

Fuente: Elaboración propia

EPE (2017a) indica que las tres premisas principales para evaluar las fuentes son: (i) emisiones de GEI compatibles con el escenario brasileño propuesto que se refiere al Acuerdo de París, (ii) opción para proyectos que evitan áreas sensibles desde el punto de vista visión socioambiental y (iii) preferencia por proyectos que tengan menos impacto y mayores beneficios sociales, ambientales y económicos.

Matriz eléctrica brasileña y la inserción del Acuerdo de París

La participación de las plantas termoeléctricas en la generación de electricidad en 2015 en Brasil fue del 34.4% (EPE, 2017b). De esta cantidad, el 24.5% fue generado por biomasa, el 39.7% por gas natural, el 7.4% por nuclear y el 28.4% por productos de petróleo y carbón. En otras palabras, la generación por combustibles fósiles, excepto el gas natural, representó el 9.77% de la energía generada. La generación eólica superó la generación nuclear (EPE, 2017b). Para producir 1 MWh, el sector eléctrico brasileño emite 2.3 veces menos que el europeo, 2.9 veces menos que el sector eléctrico estadounidense y 4.8 veces menos que el chino (EPE, 2017a, 2018l). Aunque la matriz brasileña es mucho más limpia en comparación con otras matrices de energía, expande el aumento absoluto y relativo de las emisiones del sector eléctrico.

Brasil se comprometió en el Acuerdo de París (2015) a reducir las emisiones de GEI en un 37% por debajo de los niveles de 2005, en 2025, con una contribución indicativa posterior para reducir estas emisiones en un 43% por debajo de los niveles de 2005, en 2030 (Reis and Santos, 2015). Una vez que se establece el objetivo nacional, no hay distribución, y el compromiso formal de los objetivos entre los diferentes sectores del país. Sin embargo, en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC - *Nationally Determined Contributions*) establecido por el país en virtud del acuerdo, Brasil ha establecido objetivos para lograr un 10% de aumento de

eficiencia en el sector eléctrico para 2030 y aumentar la participación de las energías renovables, además de la hidroeléctrica, a al menos el 23% en el suministro de la demanda nacional de electricidad.

Aunque la proporción de fósiles se reduce en la matriz eléctrica, Brasil todavía está en desarrollo y tiene que resolver los desafíos de las demandas reprimidas. En este sentido, considerando el aumento de las fuentes intermitentes y la diversidad geográfica de los puntos de generación, la reducción de la capacidad de almacenamiento de los embalses (EPE, 2018k), y tal restricción de emisiones, ¿qué fuente de energía garantizará la estabilidad de las operaciones del SIN? ¿Es suficiente el recurso de biomasa para suplir esta deficiencia en fuentes despachables en el sector? ¿Cuál es la escala de los impactos del uso de la tierra y la presión sobre la agricultura que causaría un aumento exacerbado en el uso de la biomasa? ¿Serían suficientes medidas GLD más efectivas, descentralizar la generación y mejorar la robustez del sistema de transmisión para garantizar la seguridad del sistema eléctrico? ¿Cuáles son las limitaciones técnico-económicas, políticas, institucionales y macroeconómicas de estas soluciones? ¿Qué tan rápido se pueden implementar? ¿Deberíamos volver a considerar los depósitos de regularización en el medio de la Amazonía? ¿A qué costo económico y ambiental están justificados en términos de mitigar las emisiones de GEI? O deberíamos, de hecho, y eso es lo que señala la planificación, resolver los problemas de logística de gas natural y aumentar de manera efectiva y eficiente nuestro parque termoeléctrico, utilizando gas natural como combustible de transición. ¿Mientras qué tecnologías como el almacenamiento de energía eléctrica en escala o el uso de hidrógeno o captura y secuestro de carbono aún no son técnica y económicamente viables?

Las posibilidades son muchas, y pueden ser sinérgicas o no. Además de este desafío, otro as-

pecto a discutir en términos del sector eléctrico es su alta dependencia de fuentes intermitentes y la relación de este perfil con el cambio climático. Varios estudios, mencionados anteriormente, han señalado los impactos del cambio climático en la previsibilidad de las fuentes intermitentes, en el cambio del comportamiento de la demanda y en el rendimiento de las UTE. En otras palabras, si, por un lado, la defensa de la seguridad energética con el uso de combustibles fósiles crea riesgos para la seguridad climática, el cambio climático genera riesgos para la confiabilidad del sistema, especialmente aquellos con una alta proporción de fuentes renovables.

PERCEPCIÓN DE LOS DESAFÍOS E INCERTIDUMBRES DE LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA NACIONAL

La percepción de la seguridad energética difiere según varios elementos, entre los cuales podemos destacar: la cartera de recursos disponibles, el índice de desarrollo, la porción de la demanda de energía acumulada, las condiciones económicas momentáneas y la situación geopolítica. Por lo tanto, el peso de los impactos del cambio climático que se incorporarán a la planificación energética dependerá directamente de los factores de seguridad energética más sensibles.

La toma de decisiones para resolver los problemas de presión en el medio ambiente causados por el desarrollo humano está vinculada a la necesidad de apoyo mediante herramientas que convergen en el enorme volumen de información y ayudan en este proceso de toma de decisiones. Se trata de responder a estos escenarios de gestión de recursos naturales y energéticos cada vez más complejos, que son difíciles de entender debido a la dinámica y la sinergia de estas transformaciones socioambientales.

Las metodologías de los complejos indicadores de seguridad energética presentados (Sovacool, 2011; Vivoda, 2010) básicamente

configuran un análisis de la sostenibilidad del sector energético que considera aspectos técnicos, políticos, económicos, sociales y ambientales. Por lo tanto, parece que, aunque existe una discusión sobre la oposición de los procesos de seguridad climática y ambiental, a medida que avanzan las discusiones y debates científicos, los dos temas tienden a ganar nuevos puntos de intersección.

Por lo tanto, basado en las observaciones de Khatib (2007), la integración energética es un elemento central de la seguridad energética. El intercambio de recursos, la diversificación de las fuentes, el desarrollo de tecnologías destinadas a las energías renovables y la atención adecuada al cambio climático, además de ser parte del marco de medidas importantes para la seguridad energética, también son elementos centrales del desarrollo sostenible. A través de este análisis, los elementos de integración energética que apuntan a la seguridad recaen en la dinámica geopolítica y comercial de la logística energética. Por lo tanto, está claro que el tema de la seguridad energética abarca varias áreas de conocimiento y que los elementos de incertidumbre con respecto a la planificación energética que apunta al desarrollo limpio y sostenible pueden clasificarse en cinco aspectos: (i) incertidumbres científicas; (ii) incertidumbres económicas; (iii) incertidumbres geopolíticas; (iv) incertidumbres tecnológicas; y (v) incertidumbres políticas e institucionales.

i) Las incertidumbres científicas son las relacionadas principalmente con la ciencia climática, es decir, la precisión de las respuestas a las siguientes preguntas: (i) ¿Cuál es el aumento máximo de temperatura que no constituye una interferencia antrópica peligrosa? ¿Este aumento configura la concentración de GEI en la atmósfera? ¿Cuál es la cantidad de emisiones que realmente necesita reducirse para que ocurra esta estabilización? ¿Cómo se traducirá el aumento de la temperatura media global en impactos climáticos? ¿Todavía hay tiempo para

reducir las emisiones para evitar una catástrofe climática sin dañar el desarrollo de los países pobres y subdesarrollados?

ii) Las incertidumbres económicas son aquellas relacionadas con los riesgos de crisis económica en los países desarrollados, después de todo, se establece que dada una crisis económica, se evita el aumento de energía, así como la inversión en nuevas tecnologías para generación, mitigación, eficiencia energética, investigación y desarrollo y puede generar fugas de carbono. Y los riesgos del crecimiento no económico en países de bajos ingresos y subdesarrollados, ya que se recomienda energía y suministros baratos debido al cambio climático.

iii) Las incertidumbres geopolíticas están directamente relacionadas con el concepto de tragedia de los bienes comunes. Con qué eficacia se distribuirá y asumirá la responsabilidad de reducción de GEI. La eficiencia del uso de los recursos energéticos está directamente relacionada con los procesos de integración energética, ¿cómo se diseñará este proceso en las próximas décadas a medida que cada país parte de diferentes premisas y necesidades energéticas?

iv) Las incertidumbres tecnológicas están relacionadas con el pronóstico del desarrollo tecnológico en los próximos años, principalmente con respecto a hidrógeno, el sistema de almacenamiento de energía eléctrica, CSC y gestión de residuos nucleares.

v) Las incertidumbres políticas e institucionales residen en la capacidad de los Estados para generar objetivos viables de reducción de GEI, lidiar con los grupos de presión de los diferentes sectores del sector y establecer regulaciones eficientes que aceleren el establecimiento de políticas de eficiencia energética, generación distribuida y redes inteligentes.

En cuanto a la planificación energética brasileña, se identificaron dos elementos centrales. El

primero se refiere a la eficiencia de la planificación que se ha desarrollado. Se advierte el desajuste entre los planes indicativos elaborados por EPE y el realmente ejecutado. Institucionalmente, aún existe poca consideración de este planeamiento para garantizar la seguridad energética, esto se puede ejemplificar al observar la defensa del ONS mejorando las subastas en cuanto a (i) la compatibilidad de los plazos para las obras de generación y transmisión; y (ii) la valoración de atributos de cada tipo de generación, tales como seguridad de suministro, impacto ambiental, emisiones, entre otros. La evaluación de estos indicadores y la compatibilidad de los plazos son elementos inherentes al proceso de planificación. Por tanto, esto indica la tendencia a establecer las subastas como la propia herramienta de planificación y no como los estudios indicativos de la EPE.

En teoría, los estudios indicativos de la EPE consideran aspectos socioambientales y emisiones de GEI para definir la combinación ideal de recursos en la planificación. En este caso, desconocer esta planificación, puede enmarcarse como un aspecto de incertidumbre política e institucional. Otros aspectos de la incertidumbre política e institucional identificados en la planificación nacional son: (i) la falta de una definición clara de qué aspectos de la seguridad energética se priorizan en el país, (ii) la falta de claridad en la metodología de medición de los aspectos socioambientales para la definición la expansión del suministro de energía eléctrica y (iii) la indefinición de las metas del sector eléctrico para el cumplimiento de los compromisos asumidos en el acuerdo de París. La combinación de estos factores genera un descrédito a la planificación que se ha realizado, poniendo en riesgo la búsqueda del desarrollo sostenible y la reducción de emisiones de GEI.

El segundo elemento central identificado en la planificación brasileña está relacionado con las tecnologías de generación de energía. El PNE 2030, publicado en 2008, ni siquiera menciona

las redes inteligentes; no considera la energía fotovoltaica como una fuente relevante en 2030 y estima un potencial eólico para el mismo año considerablemente menor que el actualmente instalado. En este sentido, hay un mayor cuidado con este tema en los estudios iniciales del PNE 2050, que clasifican como incertidumbres críticas: cambios climáticos y tecnologías asociadas; e inserción de tecnologías bajas en carbono. Por tanto, este contexto se puede enmarcar como un aspecto de la incertidumbre tecnológica en la planificación energética brasileña.

Estas incertidumbres se traducen en desafíos para todos los sistemas de energía eléctrica. Especialmente en el sector eléctrico brasileño, los principales desafíos que se pueden enumerar en esta categorización de incertidumbres son el establecimiento de herramientas para sistematizar la información ambiental e identificar la posición de los tomadores de decisiones para la consolidación de la información necesaria para el establecimiento de una planificación energética consistente y adaptable dirigida al desarrollo sostenible.

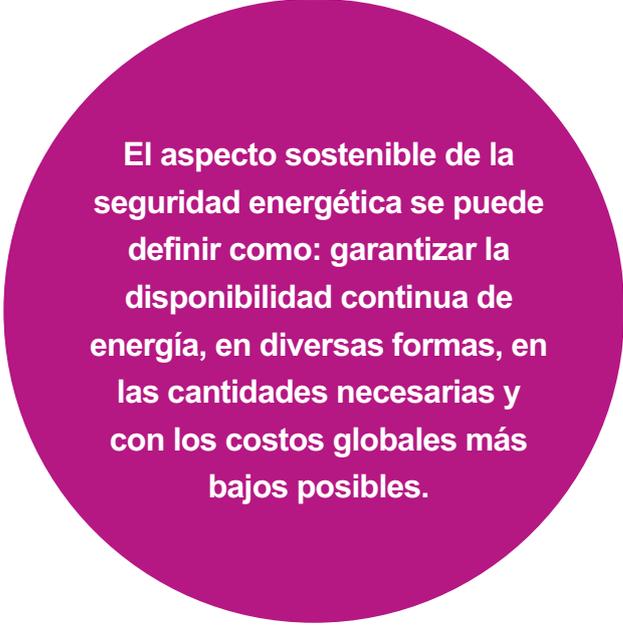
CONCLUSIÓN

Este trabajo buscó sistematizar los desafíos e incertidumbres de la PE con un enfoque en el desarrollo limpio y sostenible. Muchas de las soluciones relevantes para el desarrollo limpio y sostenible están en el campo del desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, se deben explicar varios desafíos políticos e institucionales, de modo que se establezca un proceso de transición energética que no dependa solo de la existencia o no del avance tecnológico.

Parece que, aunque existe una compensación entre la energía y la seguridad ambiental, los conceptos de seguridad energética se han acercado cada vez más a los conceptos que involucran

la sostenibilidad. Por lo tanto, se concluye que el aspecto sostenible de la seguridad energética se puede definir como: garantizar la disponibilidad continua de energía, en diversas formas, en las cantidades necesarias y con los costos globales más bajos posibles. En este sentido, el concepto de planificación integrada de recursos aparece como una posible solución siempre que se incorpore dinámicamente.

La propia PE está dotada de incertidumbres y riesgos, por lo que es esencial establecer procesos de planificación que resalten las incertidumbres, incorporen la mayor cantidad de información posible, de manera clara y sistémica y que, principalmente, puedan revisarse y actualizarse constantemente para reducir las incertidumbres. Se pueden tomar ejemplos de los diferentes planes llevados a cabo dentro del alcance del sector eléctrico brasileño, en los cuales se proponen planes a mediano y largo plazo, con revisiones anuales.



El aspecto sostenible de la seguridad energética se puede definir como: garantizar la disponibilidad continua de energía, en diversas formas, en las cantidades necesarias y con los costos globales más bajos posibles.

REFERENCIAS

- ANEEL. (2017). *Espaço empreendedor*. <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=57&idPerfil=5>
- APERC. (2007). *A quest for energy security in the 21st century*. Asia Pacific Energy Research Centre.
- Bazilian, M., Hobbs, B. F., Blyth, W., MacGill, I. and Howells, M. (2011). Interactions between energy security and climate change: A focus on developing countries. *Energy Policy*, 39(6), 3750–3756. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.003>
- Bellen, H. M. van. (2002). *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa* [Universidade Federal de Santa Catarina]. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84033%0A>
- Bicalho, R. (2014). *The challenges of energy in Brazil in video I [Os desafios da energia no Brasil em vídeo I]*. Blog Infopetro; GEE2013, POLÍTICA ENERGÉTICA, SEMINÁRIOS, SETOR DE GÁS, SETOR ELÉTRICO, SETOR ENERGÉTICO. <https://infopetro.wordpress.com/2014/01/13/os-desafios-da-energia-no-brasil-em-video-i/>
- BP. (2018). *BP Statistical review of world energy 2018*.
- CCEE. (2020). *Leilões*. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afzLoop=71357684373632&_adf.ctrl-state=e4fphazet_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D71357684373632%26_adf.ctrl-state%3De4fphazet_5
- Cima, F. M. (2006). *Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado* [Universidade Federal do Rio de Janeiro]. http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Fernando_Monteiro_Cima.pdf
- Colomer Ferraro, M. and Hallack, M. (2012). The development of the natural gas transportation network in Brazil: Recent changes to the gas law and its role in co-ordinating new investments. *Energy Policy*, 50, 601–612. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.063>
- Ostrom, E., Dietz, T., Dolšak, N., Stern, P. C., Stonich, S. and Weber, E. U. (2002). The Drama of the Commons. *National Academies Press*. <https://doi.org/10.17226/10287>
- EPE. (2007). *Plano nacional de energia 2030*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE).
- EPE. (2012). *Perguntas frequentes*. <http://www.epe.gov.br/acessoinformacao/Paginas/perguntasfrequent.es.aspx>
- EPE. (2017a). *Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2026*.
- EPE. (2017b). *Plano decenal de expansão de energia 2026*.
- EPE. (2018a). *Cenários de demanda para o PNE 2050, Relatório parcial 2*.
- EPE. (2018b). *Cenários econômicos para o PNE 2050, Relatório parcial 1*.
- EPE. (2018c). *Considerações sobre a expansão hidrelétrica nos estudos de planejamento energético de longo prazo*. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Considerações sobre a Expansão Hidrelétrica nos Estudos de Planejamento Energético de Longo Prazo.pdf>. Acesso em: 06 out. 2019
- EPE. (2018d). *Considerações sobre a participação da sociedade no planejamento de longo prazo*.
- EPE. (2018e). *Considerações sobre a participação do gás natural na matriz energética no longo prazo*. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Considerações sobre a Participação do Gás Natural na Matriz Energética no Longo Prazo.pdf>
- EPE. (2018f). *Considerações sobre o comportamento do consumidor*.
- EPE. (2018g). *Desafios da transmissão no longo prazo*.

- EPE. (2018h). *Desafios do pré-sal*.
- EPE. (2018i). *Disponibilidade hídrica e usos múltiplos*.
- EPE. (2018j). *Eletromobilidade e biocombustíveis*.
- EPE. (2018k). *Estudos para a expansão da transmissão*.
- EPE. (2018l). *Mecanismos de carbono*.
- EPE. (2018m). *Mudanças climáticas e desdobramentos sobre os estudos de planejamento energético: Considerações iniciais*.
- EPE. (2018n). *Nota técnica PR 02/18: Subsídios para elaboração do plano nacional de energia 2050*. [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-455/01.Subsídios para Elaboração do Plano Nacional de Energia 2050 \(NT PR 02-18\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-455/01.Subsídios%20para%20Elabora%C3%A7%C3%A3o%20do%20Plano%20Nacional%20de%20Energia%202050%20(NT%20PR%2002-18).pdf)
- EPE. (2018o). *Nota técnica PR 03/18: Análise comparativa de planos de energia de longo prazo de países da América Latina*. [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-455/02. Análise Comparativa de Planos de Energia de Longo Prazo de Países da América Latina \(NT PR 03-18\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-455/02.Análise%20Comparativa%20de%20Planos%20de%20Energia%20de%20Longo%20Prazo%20de%20Países%20da%20América%20Latina%20(NT%20PR%2003-18).pdf)
- EPE. (2018p). *Nota técnica PR 04/18: Potencial dos recursos energéticos no horizonte 2050*. www.mme.gov.br
- EPE. (2018q). *Nota técnica PR 07/18: Premissas e custos da oferta de energia elétrica no horizonte 2050*. <http://epe.gov.br>
- EPE. (2018r). *Nota técnica PR 08/18: Recursos energéticos distribuídos 2050*.
- EPE. (2018s). *Nota técnica PR 09/18: Premissas e custos da oferta de energia elétrica*. www.mme.gov.br
- EPE. (2018t). *Panorama e perspectivas sobre integração energética regional*.
- EPE. (2018u). *Papel da biomassa na expansão da geração de energia elétrica*.
- Fonseca, P. M. M. da. (2011). *Segurança energética e segurança climática: Dois mundos em colisão*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Frei, C. W. (2004). The Kyoto protocol—a victim of supply security? *Energy Policy*, 32(11), 1253–1256. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.012>
- Grimoni, J. A. B., Galvão, L. C. R., Udaeta, M. E. M. and Kanayma, P. H. (2015). *Introduction to concepts of energy systems for clean development [Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo]* (2nd ed.). Edusp.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Kharecha, P., Lacis, A., Miller, R., Nazarenko, L., Lo, K., Schmidt, G. A., Russell, G., Aleinov, I., Bauer, S., Baum, E., Cairns, B., Canuto, V., Chandler, M., Cheng, Y., Cohen, A., Del Genio, A., ... Zhang, S. (2007). Dangerous human-made interference with climate: a GISS modelE study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(9), 2287–2312. <https://doi.org/10.5194/acp-7-2287-2007>
- Helm, D. (2002). Energy policy: security of supply, sustainability and competition. *Energy Policy*, 30(3), 173–184. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00141-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00141-0)
- IEA. (2019). *Key world energy statistics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00927-1>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (The Core Writing Team, R. K. Pachauri, & L. A. Meyer (eds.)). https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- IRENA. (2017). *REthinking energy 2017: Accelerating the global energy transformation*. International Renewable Energy Agency (IRENA). <https://doi.org/10.1007/s00063-001-1014-y>
- Kanayama, P. H. (2007). *Mecanismos de desenvolvimento limpo no PIR* [Escola Politécnica da Universidade de São Paulo]. In 2007. <https://doi.org/080980>
- Khatib, H. (2007). Energy security. In *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability* (pp. 111–131). Communications Development Incorporated.

- Laponche, B. (2001). *The green paper: Towards a european strategy for the security of energy supply*.
- Leturcq, G. (2016). Differences and similarities in impacts of hydroelectric dams between north and south of Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 19(2), 265–286. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0254R1V1922016>
- Månsson, A., Johansson, B. and Nilsson, L. J. (2014). Assessing energy security: An overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.073>
- Narula, K. (2014). Is sustainable energy security of India increasing or decreasing? *International Journal of Sustainable Energy*, 33(6), 1054–1075. <https://doi.org/10.1080/14786451.2013.811411>
- Narula, K., Sudhakara Reddy, B., Pachauri, S. and Mahendra Dev, S. (2017). Sustainable energy security for India: An assessment of the energy supply sub-system. *Energy Policy*, 103, 127–144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.001>
- Neto, J. G. and Shima, W. T. (2015). Porque é tão difícil a integração entre os setores de energia elétrica e gás natural no brasil? uma análise à luz da economia dos custos de transação. *Agenda Política*, 3(2), 156–183.
- OECD/IEA. (2015). *Energy and climate change*. <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/energia/file-e-allegati/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>
- OECD/IEA, & IRENA. (2017). *Perspectives for the Energy Transition – Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*. International Energy Agency (IEA) and International Renewable Energy Agency (IRENA). www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm
- ONS. (2020). *Atuação do ONS sobre o SIN. Operador nacional do sistema*. <http://www.ons.org.br/atuacao/index.aspx>
- Pereira, A., Marreco, J., Almeida, M. and Neto, V. C. (2005). *Aspectos Fundamentais de Planejamento Energético*.
- Reis, L. B. dos. and Santos, E. C. (2015). *Energia elétrica e sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais*. (2nd ed.). Editora Manole.
- Relva, S. G., Silva, V. O. da., Peyerl, D., Gimenes, A. L. V. and Udaeta, M. E. M. (2020). Regulating the electro-energetic use of natural gas by gas-to-wire offshore technology: Case study from Brazil. *Utilities Policy*, 66, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101085>
- Relva, S. G., Udaeta, M. E. M., Grimoni, J. A. B. and Galvão, L. C. R. (2015). Avaliação comparada de geração de energia por fontes renováveis e não renováveis nos sistemas elétricos. *Anais Do XXIII SNPTEE*.
- Romano, G. (2014). Energy security and climate change in the European Union [Segurança energética e mudanças climáticas na União Europeia]. *Contexto Internacional*, 36(1), 113–143. <https://doi.org/10.1590/s0102-85292014000100004>
- Santos, G. A. G. dos., Barbosa, E. K., Silva, J. F. S. da. and Abreu, R. da S. de. (2008). Por que as tarifas foram para os céus? Postostas para o setor elétrico Brasileiro. *Revista Do BNDES*, 14(29), 435–474.
- Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPDE). (2020). *Plano decenal de expansão de energia – PDE*. http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/-/document_library_display/D4vwZfLTpgWb/view_file/1039275?_110_INSTANCE_D4vwZfLTpgWb_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Praeger/ABC CLIO.
- Sovacool, B. K. (2011). Evaluating energy security in the Asia pacific: Towards a more comprehensive approach. *Energy Policy*, 39(11), 7472–7479. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.008>

Stram, B. N. (2016). Key challenges to expanding renewable energy. *Energy Policy*, 96, 728–734. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.034>

Udaeta, M. E. M. (1997). *Planejamento integrado de recursos energéticos - PIR - para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)* [Escola Politécnica da Universidade de São Paulo]. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082001-113018/pt-br.php>

United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common Future*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UN_WCED_1987_Brundtland_Report.pdf

United Nations. (2015). *Adoption of the Paris agreement, 21st Conference of the Parties*. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

Vera, I. and Langlois, L. (2007). Energy indicators for sustainable development. *Energy*, 32(6), 875–882. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.08.006>

Vivoda, V. (2010). Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. *Energy Policy*, 38(9), 5258–5263. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.028>

Yergin, D. (1988). Energy Security in the 1990s. *Foreign Affairs*, 67(1), 110. <https://doi.org/10.2307/20043677>