



# PLANIFICACIÓN DE UN SECTOR ENERGÉTICO RESILIENTE

## Cómo asegurar electricidad confiable, segura y asequible

### ¿Qué es la resiliencia del sector energético?

La provisión de electricidad confiable, segura y asequible es esencial para impulsar el crecimiento económico y el desarrollo. El sistema energético está en riesgo debido a una serie de amenazas naturales, tecnológicas y creadas por el hombre, que pueden causar todo, desde la interrupción de la alimentación hasta el suministro insuficiente crónico. Para ello, es fundamental que los responsables de la formulación de políticas, los planificadores y los operadores del sistema salvaguarden sus sistemas y planifiquen e inviertan en la mejora de la capacidad de recuperación del sector energético en sus países.

A través de la planificación holística de la resiliencia, los actores pueden anticiparse, prepararse y adaptarse a las amenazas y tensiones en el sistema eléctrico. La planificación de la resiliencia identifica las amenazas, los impactos y las vulnerabilidades del sistema de energía, y elabora estrategias para mitigarlos.



Fig. 1 El clima severo puede causar inundaciones, deslizamientos de tierra y otras amenazas a la infraestructura del sistema de energía y puede afectar la disponibilidad de recursos energéticos. La generación de energía renovable puede mejorar la resiliencia debido a su naturaleza modular y la falta de requisitos de combustible.<sup>5</sup> Foto de iStock 155353280

presas, accidentes de centrales nucleares, incendios de estaciones generadoras y cortes de energía causados por equipos defectuosos del sistema. Estas amenazas pueden ser independientes o estar vinculadas a amenazas naturales o causadas por el hombre. Por ejemplo, el incidente nuclear de Three Mile Island fue una falla tecnológica aislada, mientras que el incidente nuclear de Fukushima estuvo directamente relacionado con un tsunami de 15 metros causado por el gran terremoto del este de Japón.<sup>5,6</sup> La infraestructura de transmisión y distribución de electricidad vieja o demasiado pequeña también es una amenaza común que puede causar fallas e interrupciones en la electricidad.

**Las amenazas causadas por humanos** se pueden dividir en dos categorías: accidentes y eventos maliciosos. Los accidentes involucran acciones involuntarias que generan daños en los sistemas, por ejemplo, un conductor que choca contra un poste de transmisión y causa una interrupción. Las amenazas humanas maliciosas son el resultado de acciones deliberadas y maliciosas, como el terrorismo físico o los ciberataques a la infraestructura de energía y los sistemas de control. Los ataques físicos podrían lesionar a los trabajadores y destruir la infraestructura energética, como los conductos de combustible o las líneas de transmisión. Los ciberataques pueden afectar las operaciones del sistema o tomar información confidencial sobre los sistemas de control de energía, los generadores o la infraestructura de datos críticos.<sup>7</sup>

### ¿Cómo puedo mejorar la resiliencia del sector energético?

Mejorar la resiliencia del sector energético requiere identificar y abordar sistemáticamente las vulnerabilidades por medio de una planificación de resiliencia proactiva. La planificación de la resiliencia del sector energético puede realizarse a muchas escalas geográficas y debe incluirse dentro de los procesos de planificación del sector energético existente, como la planificación integrada de los recursos o la planificación del desarrollo de energía.<sup>7,8</sup>

### Planificación para la resiliencia del sector energético

La planificación de la resiliencia del sector energético requiere la participación de las partes interesadas en una visión común para un sistema resiliente, la recopilación de datos e información necesaria del sistema, la evaluación de las vulnerabilidades y el desarrollo de las estrategias y políticas que permitan mejorar la resiliencia del sector. Para realizar una evaluación de vulnerabilidad,

### ¿Qué es la resiliencia?

La resiliencia es la capacidad de anticipar, prepararse y adaptarse a las condiciones cambiantes y de resistir, responder y recuperarse rápidamente de las interrupciones a través de soluciones técnicas y de planificación adaptables y holísticas.<sup>1</sup>

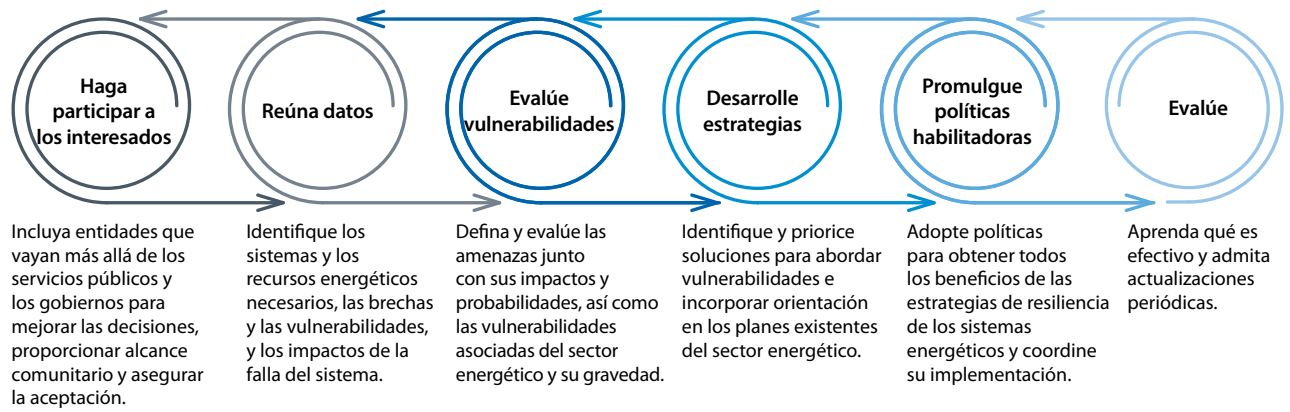
### ¿Cuáles son las amenazas para el sistema de energía?

Las vulnerabilidades del sector energético (debilidades dentro de la infraestructura, sistemas u operaciones) son susceptibles a amenazas naturales, tecnológicas y causadas por el hombre. Los impactos de estas amenazas incluyen la potencial escasez de suministro de combustible para el transporte y la generación de energía, el daño a la infraestructura física, los cambios en la demanda de energía y la interrupción del suministro de electricidad para el usuario final.<sup>2</sup> A su vez, estas interrupciones afectan negativamente los servicios y las instalaciones críticas (por ejemplo, servicios hospitalarios, tratamiento de agua y redes de comunicaciones). En este sentido, es vital entender las amenazas al sistema de energía y sus impactos asociados.

Las **amenazas naturales** incluyen cambios climáticos a largo plazo, como variaciones en los patrones de precipitación y cambios en las temperaturas del aire y el agua, así como eventos climáticos severos (tormentas, inundaciones y marejadas ciclónicas). Por ejemplo, el agua más caliente y la sequía pueden afectar la disponibilidad de agua de refrigeración para la generación térmica y aumentar la competencia entre las instalaciones de generación hidroeléctrica y otros usuarios. Los patrones de precipitación alterados y las tormentas más intensas pueden afectar la producción de energía hidroeléctrica y la disponibilidad de recursos de biomasa. Los cambios en la dirección del viento, la velocidad y la disponibilidad pueden alterar la generación de energía eólica y dañar las líneas de transmisión y distribución. Las inundaciones y los fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, tormentas severas e incendios forestales, pueden dañar la infraestructura de generación, transmisión y distribución.<sup>3,4</sup> Este daño puede causar interrupciones a corto y largo plazo, como se ha visto en los Estados Unidos después de los huracanes Irma y María.

Las **amenazas tecnológicas** son fallas impredecibles de equipos e infraestructura. Se consideran amenazas tecnológicas, por ejemplo, la falla de

Fig. 2 La planificación de la resiliencia del sector energético puede ocurrir a diferentes escalas geográficas (local, nacional o regional) y debe incorporarse en la planificación y las políticas del sector energético existente para garantizar la efectividad.



los planificadores inicialmente recopilan datos sobre cargas críticas, amenazas, recursos energéticos, infraestructura del sistema de energía y otras áreas relevantes. La Hoja de ruta de la resiliencia ([nrel.gov/resilience-planning-roadmap](http://nrel.gov/resilience-planning-roadmap)) y el Explorador de datos de energía renovable ([re-explorer.org](http://re-explorer.org)) proporcionan listas de datos (políticas y planes relevantes, características de generación eléctrica, perfiles de sistemas de transporte, costos de energía y operaciones gubernamentales y comunitarias) y datos espaciales agregados (disponibilidad de recursos energéticos y ubicación de la infraestructura energética, entre otros), que pueden respaldar la planificación de la resiliencia.

Después de recopilar datos, los planificadores evalúan la vulnerabilidad que considera los riesgos (calculados como el producto de la probabilidad de la amenaza y la gravedad de la vulnerabilidad) y la exposición (cómo los sistemas de energía pueden responder ante las amenazas) a ciertas amenazas que enfrenta un sistema.<sup>9</sup>

Después de evaluar las vulnerabilidades, los planificadores identifican y priorizan las soluciones para mejorar la resiliencia del sector energético. Estas soluciones pueden integrarse luego en los planes y las políticas existentes del sector energético.<sup>10</sup>

Las soluciones pueden incluir opciones tales como la diversificación espacial de generación y transmisión, el desarrollo de microrredes para sistemas críticos y la introducción de redundancia para los sistemas más vulnerables. Cualquiera de estas soluciones debe completarse dentro de un marco de políticas apropiado, que valore y permita la resiliencia mediante el desarrollo de la infraestructura y la planificación operativa. También es vital identificar el financiamiento que permita la implementación de estas soluciones. La efectividad de las acciones y las políticas debe evaluarse regularmente, ya que el proceso de resiliencia es iterativo.<sup>10</sup>

## Plataforma Resilient Power

La plataforma Resilient Power (RePower) es una colección de recursos, materiales de capacitación y herramientas cuidadosamente seleccionada, que permite a los responsables de la toma de decisiones evaluar las vulnerabilidades del sector energético, identificar soluciones de resiliencia y tomar decisiones informadas para mejorar la resiliencia del sector energético en todas las escalas. Descubra más información en [www.nrel.gov/usaid-partnership](http://www.nrel.gov/usaid-partnership).

## Autores

Nathan Lee y Sherry Stout, *Laboratorio Nacional de Energía Renovable*

## Referencias

- [1] NREL. "Resilience Roadmap" (Hoja de ruta de resiliencia). Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), 2018. <https://www.nrel.gov/resilience-planning-roadmap/>.
- [2] DOE. "Climate Change and the Electricity Sector: Guide for Climate Change Resilience Planning" (Cambio climático y sector eléctrico: guía para la planificación de la resiliencia frente al cambio climático). Washington, DC.: Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), 2016. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/Climate%20Change%20and%20the%20Electricity%20Sector%20Guide%20for%20Climate%20Change%20Resilience%20Planning%20September%202016\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/Climate%20Change%20and%20the%20Electricity%20Sector%20Guide%20for%20Climate%20Change%20Resilience%20Planning%20September%202016_0.pdf).
- [3] Hellmuth, Molly, Pamela Cookson y Joanne Potter. "Addressing Climate Vulnerability for Power System Resilience and Energy Security: A Focus on Hydropower Resources" (Cómo abordar la vulnerabilidad climática para la resiliencia del sistema eléctrico y la seguridad energética: un enfoque en los recursos de energía hidroeléctrica). Informe técnico. Serie RALI: "Promoting Solutions for Low Emission Development" (Cómo promover soluciones para el desarrollo de bajas emisiones). Washington, DC.: Recursos para avanzar en la implementación de LEDS (RALI) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) e ICF International, Inc., 2017. <https://www.climatelinks.org/resources/addressing-climate-vulnerability-power-system-resilience-and-energy-security-focus>.
- [4] Miara, Ariel, Jordan E. Macknick, Charles J. Vörösmarty, Vincent C. Tidwell, Robin Newmark y Balazs Fekete. "Climate and Water Resource Change Impacts and Adaptation Potential for US Power Supply" (Impactos del cambio de recursos climáticos e hídricos y potencial de adaptación para el suministro energético de los Estados Unidos). *Nature Climate Change* 7, n.º 11 (noviembre de 2017): 793-98. <https://doi.org/10.1038/nclimate3417>.
- [5] NRC. "Backgrounder: Three Mile Island Accident" (Antecedentes: accidente de Three Mile Island). Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos. 2018. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>.
- [6] Asociación Nuclear Mundial. "Fukushima Accident" (Accidente de Fukushima) 2018. <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx>.
- [7] NIST. "Community Resilience Planning Guide" (Guía de planificación de resiliencia comunitaria). Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), 2018. <https://www.nist.gov/topics/community-resilience/community-resilience-planning-guide>.
- [8] Cox, Sadie, Eliza Hotchkiss, Dan Bilello, Andrea Watson, Alison Holm y Jennifer Leisch. "Bridging Climate Change Resilience and Mitigation in the Electricity Sector Through Renewable Energy and Energy Efficiency: Emerging Climate Change and Development Topics for Energy Sector Transformation" (Reducción de la resistencia y mitigación del cambio climático en el sector eléctrico por medio de energía renovable y eficiencia energética: temas emergentes de cambio climático y desarrollo para la transformación del sector energético). Informe técnico. Golden, CO: Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), 2017. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/67040.pdf>.
- [9] GIZ. "The Vulnerability Sourcebook: Concept and Guidelines for Standardised Vulnerability Assessments" (El libro de la vulnerabilidad: concepto y pautas para evaluaciones de vulnerabilidad estandarizadas). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2014. <https://www.adelphi.de/en/publication/vulnerability-sourcebook-concept-and-guidelines-standardized-vulnerability-assessments>.
- [10] Cox, S., Gagnon, P., Stout, S., Zinaman, O., Watson, A. y Hotchkiss, E. 2016. "Distributed Generation to Support Development-Focused Climate Action. EC-LEDS (Enhancing Capacity for Low Emission Development Strategies)" (Generación distribuida para apoyar la acción climática enfocada en el desarrollo. EC-LEDS [Cómo mejorar la capacidad para las estrategias de desarrollo de emisiones bajas]). Informe técnico. Golden, CO: NREL. f.

[www.nrel.gov/usaid-partnership](http://www.nrel.gov/usaid-partnership)



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
1300 Pennsylvania Avenue NW • Washington, DC 20523  
+1-202-712-0000 • [www.usaid.gov/climate/clean-energy](http://www.usaid.gov/climate/clean-energy)

**Dra. Jennifer E. Leisch**  
Gerente de la Asociación USAID-NREL  
Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)  
Tel.: +1-303-913-0103  
Correo electrónico: [jleisch@usaid.gov](mailto:jleisch@usaid.gov)



Laboratorio Nacional de Energías Renovables  
15013 Denver West Parkway • Golden, CO 80401  
+1-303-275-3000 • [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

**Andrea Watson**  
Gerente de la Cartera de USAID  
Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL)  
Tel.: +1-303-275-4234  
Correo electrónico: [andrea.watson@nrel.gov](mailto:andrea.watson@nrel.gov)

### AVISO

Este trabajo fue escrito, en parte, por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, operado por Alliance for Sustainable Energy, LLC, para el Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos en virtud del contrato n.º DE-AC36-08GO28308. Financiamiento proporcionado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en virtud del contrato n.º IAG-17-2050. Las opiniones expresadas en el artículo no representan necesariamente las opiniones del Departamento de Energía, del gobierno de los Estados Unidos ni de alguna agencia del mismo, tampoco de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

NREL/TP-7A40-72737 • Noviembre de 2018