



enel

ADAPTACIÓN y RESILIENCIA CLIMÁTICA

El enfoque estratégico del Grupo Enel para gestionar los efectos del cambio climático



<<Los eventos extremos—como incendios forestales, inundaciones y tormentas— son cada vez más frecuentes e intensos, con impactos que desafían la resiliencia de las comunidades y la estabilidad de los sistemas socioeconómicos.

Este no es un problema limitado a la responsabilidad de actores individuales, como gobiernos, científicos o empresas: es un desafío colectivo que requiere colaboración, innovación y responsabilidad compartida.

Nuestro objetivo es contribuir de manera concreta al desarrollo de sistemas energéticos sostenibles y resilientes, también mediante la construcción de un mix de generación de eléctrica bien equilibrado, en colaboración con nuestros stakeholders y las comunidades donde operamos.>>

Flavio Cattaneo

CEO Enel Group

Introducción

El cambio climático ya es una realidad que produce efectos tangibles en las personas, las economías y la infraestructura. Los eventos extremos—como incendios forestales, inundaciones y tormentas— son cada vez más frecuentes e intensos, con impactos que desafían la resiliencia de las comunidades y la estabilidad de los sistemas socioeconómicos.

Este no es un problema limitado a la responsabilidad de actores individuales, como gobiernos, científicos o empresas: es un desafío colectivo que requiere colaboración, innovación y responsabilidad compartida. Incluso cuando ciertos impactos extraordinarios no se pueden evitar por completo, la preparación, la planificación y la colaboración son esenciales para abordarlos de manera efectiva.

Junto con la mitigación —orientada a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura— la adaptación juega un papel central. La mitigación y la adaptación no son alternativas, sino dos caras de la misma moneda: sin mitigación, los impactos futuros se volverían inmanejables; sin adaptación, no

podríamos vivir con los impactos ya presentes y los que inevitablemente tendremos que enfrentar. Para un operador global como Enel, con más de 60.000 empleados, cerca de 68 GW de capacidad renovable gestionada y 69,1 millones de clientes, construir resiliencia para la adaptación climática no es una opción sino una prioridad estratégica.

Nuestro objetivo es contribuir de manera concreta al desarrollo de sistemas energéticos sostenibles y resilientes, también mediante la construcción de un mix de generación de eléctrica bien equilibrado, en colaboración con nuestros stakeholders y las comunidades donde operamos. Además de ser una empresa líder en la transición energética, contamos con años de experiencia en adaptación y en gestión de fenómenos climáticos, gracias a un patrimonio de datos cada vez mayor, herramientas innovadoras y competencias especializadas.

Este documento es una contribución al diálogo y la colaboración entre las instituciones, la comunidad científica y el sector privado, para promover e implementar soluciones concretas, escalables y sostenibles.

INTRODUCCIÓN	2
1 EL FUTURO SE FORMA HOY	4
El futuro del clima ya ha comenzado	7
El cambio climático tiene una velocidad sin precedentes	7
La adaptación es una inversión, no un coste	8
2 LA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN GRUPO ENEL	9
La evaluación del riesgo climático	10
Cómo Enel declina la estrategia de adaptación	11
Redes de distribución	14
Plantas de generación de energía	20
Flexibilidad y respuesta a la demanda	26
3 FACTORES CLAVE PARA LA ADAPTACIÓN	27
Gobernanza multinivel y alianzas estratégicas	28
Políticas públicas y regulación	29
Financiación para la adaptación	31
BIBLIOGRAFÍA	32



**EL FUTURO
SE FORMA
HOY**

“La adaptación ya no es una opción, ni compete con la mitigación. Es el vehículo de cuidado y renovación hacia una transformación colectiva.”

Corrêa do Lago, presidente de la COP30

El cambio climático es un desafío global en el que la mitigación y la adaptación representan dos dimensiones complementarias.

La mitigación tiene como objetivo reducir o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero para minimizar el cambio climático; la adaptación se refiere al proceso de reforzar la capacidad de los territorios, las comunidades y los sistemas socioeconómicos para enfrentarlo. En resumen, el objetivo de la mitigación es evitar cambios climáticos incontrolables, mientras que el objetivo de la adaptación es gestionar cambios climáticos inevitables.

En los últimos años, la creciente evidencia y los impactos han aumentado la atención mundial sobre la necesidad de adaptación, no solo como una respuesta de emergencia, sino como una solución estructural para proteger activos y valor, fortalecer la resiliencia y respaldar una transición sostenible. En 2015, el Acuerdo de París estableció el compromiso global de mantener el aumento de la temperatura media muy por debajo de los 2 °C por encima de los niveles preindustriales y de proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C. Sin embargo, incluso en un mundo en el que el aumento de la temperatura a

lo largo del siglo se mantenga por debajo de 1,5 °C, los impactos serán significativos, con eventos extremos más frecuentes y mayores efectos sobre los ecosistemas: una transición energética lenta e ineficaz implicaría un esfuerzo de adaptación aún mayor. Hoy en día, los escenarios energéticos basados en las políticas actuales proyectan emisiones consistentes con un calentamiento global muy superior de los 2 °C¹. Al ritmo actual de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en menos de cuatro años agotaremos el *carbon budget*, es decir, la cantidad máxima de GEI que puede emitirse para conservar un 50% de probabilidad de mantener el calentamiento global dentro de 1,5 °C².

La infraestructura energética es el vehículo de los servicios esenciales para la vida económica y social y por ello es central para la adaptación climática. Los cortes de energía generalizados de los últimos meses – causados o no por el cambio climático – han evidenciado cuán crucial es la resiliencia de la infraestructura energética, tanto para garantizar la prestación de servicios esenciales a millones de personas como para actuar como plataforma habilitadora para la transición energética.



1. Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6) “Cambio Climático 2023”, sección 2.1.1; Consistente con un aumento de la temperatura global de aproximadamente 2,7 °C para 2100 en comparación con los niveles preindustriales. Basado en escenarios climáticos SSP2-RCP 4.5 [IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, SSP: Vía Socioeconómica Compartida, RCP: Vía de Concentración Representativa]
2. Instituto Potsdam para la Investigación del Impacto Climático – Reloj de carbono



<<Los actuales cambios en el sistema climático continuarán en las próximas décadas, incluso de forma más pronunciada. Esto requerirá el desarrollo de políticas de adaptación para gestionar los efectos de estos cambios.>>

Filippo Giorgi

Climatólogo, emérito del Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica (ICTP)

El papel crucial de la comunidad científica

“Es un hecho inequívoco que el calentamiento global está en marcha y que se debe, en su mayor parte, a las emisiones de gases de efecto invernadero procedente de actividades humanas, principalmente dióxido de carbono generado por el uso de combustibles fósiles.

Los efectos del calentamiento global en el sistema climático terrestre son evidentes y afectan cada vez con mayor intensidad a distintos sectores de la sociedad. Olas de calor cada vez más intensas y frecuentes, incremento de fenómenos meteorológicos extremos - tanto inundaciones como con sequías-, deshielo de glaciares continentales y marinos, y aumento del nivel del mar son solo algunos de estos efectos. Uno de los aspectos más preocupantes es la velocidad a la que se están produciendo estos cambios en el sistema climático, una velocidad sin precedentes al menos los últimos 12.000 años. De hecho, los datos muestran que estos cambios se están acelerando, al igual que las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero.

Aun si las necesarias políticas de reducción de emisiones pueden limitar el calentamiento global por debajo de umbrales peligrosos para el desarrollo sostenible de la sociedad, los cambios en curso del sistema climático continuarán en las próximas décadas, incluso en un modo aún más pronunciado. Esto requerirá el desarrollo de políticas de adaptación para gestionar los efectos de estos cambios.

La adaptación tiene un carácter regional y local porque los impactos del calentamiento global varían de un área a otra. En consecuencia, la planificación e implementación de planes de adaptación requiere información altamente precisa, tanto climática como sobre diferentes tipos de impactos.

La contribución de la comunidad científica es fundamental para transformar los datos en información estructurada y para orientar su interpretación, permitiendo así realizar análisis aplicados cada vez más eficaces y útiles para la planificación de estrategias de adaptación al cambio climático.”

EL FUTURO DEL CLIMA YA HA COMENZADO

El 2024 marcó un récord de calentamiento global: por primera vez, las temperaturas medias globales superaron el umbral de 1,5 °C, un nivel de calentamiento confirmado también en 2025, 1,44°C según la WMO, lo que sitúa la media del trienio 2023-2025 en ~1,48°C. Fenómenos extremos, como inundaciones y tormentas, han comenzado a manifestarse con una intensidad y frecuencia cada vez mayores, mientras que los costos económicos y sociales asociados a estos eventos continúan creciendo. Los estudios de *weather attribution* muestran que aproximadamente el

80% de los eventos meteorológicos catastróficos ya están influenciados por el cambio climático³.

Las consecuencias económicas son evidentes: en 2024, las pérdidas globales debidas a desastres naturales alcanzaron los **320 mil millones de dólares**, muy por encima del promedio de treinta años de **236 mil millones de dólares**⁴. En Europa, según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), en los últimos diez años los daños económicos anuales causados por fenómenos meteorológicos y climáticos han sido **el doble** respecto a la media de las dos

"La velocidad del cambio desde mediados del siglo XX no tiene precedentes en milenios"

NASA, Sexto Informe de Evaluación del IPCC

EL CAMBIO CLIMÁTICO TIENE UNA VELOCIDAD SIN PRECEDENTES

El aspecto más significativo del cambio climático es la velocidad a la que está ocurriendo; vivimos en un mundo que evoluciona más rápido que los enfoques tradicionales de evaluación de riesgos. El cambio climático actual es más de 100 veces más rápido que los ciclos naturales del pasado: después de la última era glacial, la Tierra se calentó aproximadamente 0,001 °C por década⁶. Desde 1850, el planeta se ha calentado aproximadamente 0,06 °C por década, con un aumento promedio significativamente mayor desde 1982, que oscila entre 0,20 y 0,26 °C⁷ por

década.

Esta rapidez amplifica la incertidumbre y reduce drásticamente la efectividad de los modelos predictivos basados en datos históricos. La velocidad del cambio requiere una transformación: pasar de una gestión de riesgos basada en series históricas a enfoques basados en escenarios, proyecciones climáticas, datos y actualizaciones continuas. La adaptación exige comprender las tendencias y gestionar la complejidad y la incertidumbre.

3. Carbon Brief, Mapeado: Cómo afecta el cambio climático al clima extremo en todo el mundo, 2024

4. Munich Re - sitio web - Desastres naturales en el mundo: las pérdidas aumentan a medida que golpea el cambio climático

5. Agencia Europea de Medio Ambiente

6. Observatorio de la Tierra de la NASA (<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page3.php>) y <https://climate.mit.edu/ask-mit/todays-climate-change-similar-natural-warming-between-ice-ages>)

7. NOAA 2023, Datos científicos del sistema terrestre 2024 y <http://climate.gov/news-features/climate-qa/whats-hottest-earths-ever-been#:~:text=Since%201800%2C%20carbon%20dioxide%20has,0.20%C2%B0C%20per%20decade.>

LA ADAPTACIÓN ES UNA INVERSIÓN, NO UN COSTO

El reto de la adaptación permite transformar infraestructuras, sistemas y modelos de negocio, haciéndolos resilientes y rentables incluso en la nueva normalidad. La resiliencia de sistemas e infraestructuras es fundamental en cualquier ámbito económico y social, tanto para las economías emergentes, a menudo más vulnerables y expuestas, como para las economías avanzadas, que requieren intervenciones en infraestructuras complejas y digitalizadas.

Evolucionar hacia la adaptación crea valor a largo plazo.

Las inversiones en adaptación generan beneficios en múltiples niveles: en primer lugar, reducen los impactos directos de eventos destructivos; también crean beneficios económicos inducidos al mejorar la capacidad de generar valor, como en el caso de las actividades económicas vinculadas a los recursos naturales; finalmente, producen ventajas sociales y ambientales, en términos de protección de la salud y preservación de los ecosistemas.

Muchos estudios tienen como objetivo identificar el valor

de la adaptación, reconociéndola como una inversión útil y rentable a nivel sistémico. Un estudio de BCG (Boston Consulting Group) y la Universidad de Cambridge⁸ estima que el costo de la inacción podría resultar en una pérdida del PIB mundial de entre el 11% y el 27%, que podría llegar hasta el 34% si las temperaturas globales aumentan a 3 °C para 2100. JP Morgan⁹ cuantifica el retorno global de las inversiones en adaptación climática en un rango de 2 a 43 dólares por dólar invertido. La OCDE¹⁰ estima el retorno de las intervenciones de adaptación entre 2 y 10 dólares por cada dólar invertido¹¹.

El aumento de los costos asociados a los eventos extremos está ejerciendo presión sobre los mercados de seguros.

Esto ha provocado aumentos significativos en las primas y limitaciones en la cobertura proporcionada por las aseguradoras, especialmente desde 2021. Por lo tanto, la adaptación debe prever también la evolución de los instrumentos de cobertura de riesgos financieros y su difusión más amplia, para garantizar en el futuro niveles de cobertura adecuados a costos razonables.

8. BCG, Universidad de Cambridge – Aterrizando el caso económico para la acción climática con los tomadores de decisiones, marzo de 2025

9. JP Morgan – Construyendo resiliencia a través de la adaptación climática, 2025

10. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

11. Comisión Mundial de Adaptación – Adapt Now: Un llamado mundial al liderazgo en resiliencia climática, 2019



2

LA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN DEL GRUPO ENEL

En los últimos años, Enel ha afrontado un número creciente de eventos climáticos extremos que han tenido impactos significativos en los activos de la empresa y en el servicio a los clientes. Las emergencias relacionadas con olas de calor, tormentas de viento y lluvias intensas han causado interrupciones del servicio en diversas regiones, como Italia, Chile y Brasil.

Los impactos del cambio climático hacen necesario desarrollar estrategias y acciones capaces de absorber los impactos y operar de manera segura incluso cuando cambian las condiciones externas. El objetivo de la adaptación climática es fortalecer la resiliencia de los activos, reduciendo los riesgos y garantizando la rentabilidad a largo plazo en un contexto climático en evolución.

EVALUACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO

El riesgo climático se evalúa combinando tres factores:

- el **peligro**, que describe cómo evolucionará cada fenómeno climático en términos de intensidad y frecuencia en un área determinada;
- la **vulnerabilidad** de los activos frente a los fenómenos climáticos, que cuantifica cuán susceptible es un activo a sufrir daños en caso de eventos climáticos;

- la **exposición**, que representa el valor de los activos en las localidades sujetas a los peligros.

El riesgo aumenta cuando cualquiera de estos factores —peligro, vulnerabilidad o exposición— crece: incluso un peligro moderado puede causar daños si la vulnerabilidad y la exposición son elevadas.

PELIGRO	*	VULNERABILIDAD	*	EXPOSICIÓN
Evaluar la intensidad y frecuencia de los fenómenos climáticos		Aumentar la capacidad de los activos para operar en condiciones adversas (Resiliencia) y mejorar la capacidad de gestionar emergencias y restablecer la operatividad (Response)		Definir el valor técnico y económico de los activos y servicios involucrados

CÓMO ENEL IMPLEMENTA LA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

La definición de los planes de adaptación de Enel se basa en la evaluación de los impactos del cambio climático en línea con el *framework* descrito: evaluación de los peligros climáticos, análisis de vulnerabilidad e impactos, con el objetivo de aumentar la resiliencia de los activos y la capacidad de respuesta a eventos adversos, reduciendo así la exposición potencial del Grupo y de los territorios en los que opera.

En Enel, los escenarios climáticos se desarrollan a través de un proceso definido, aplicado a cada línea de negocio y área geográfica de presencia, para producir información

cuantitativa que apoye concretamente la toma de decisiones:

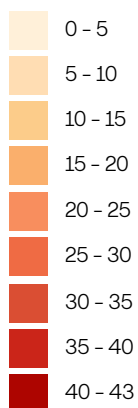
- Identificación de los fenómenos más significativos (por ejemplo, inundaciones, olas de calor, etc.).
- Desarrollo de escenarios y definición de prioridades, recurriendo a las mejores fuentes de datos climáticos (institutos de investigación, empresas privadas y conjuntos de datos públicos).
- Definición de indicadores ad hoc para el seguimiento de eventos relevantes, considerando características específicas del negocio (por ejemplo, el efecto de las olas de calor en las redes subterráneas).

Los análisis se basan en modelos globales del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC): para estudiar el comportamiento de las principales variables físicas (temperatura, precipitación, viento, etc.), se utilizan múltiples modelos climáticos —el llamado “ensemble de modelos”— que se aplican a nivel de cada activo mediante técnicas y algoritmos (downscaling y bias correction) desarrollados en colaboración con socios científicos como el Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica (ICTP) y otros expertos del sector.

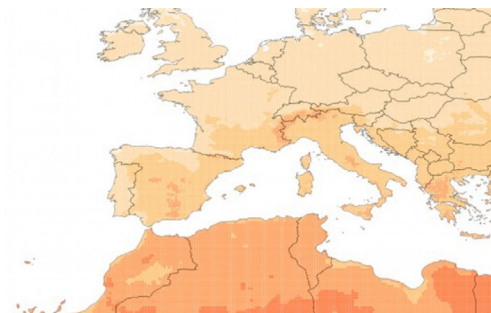
Posteriormente, se analiza el comportamiento de cada variable en diferentes escenarios de evolución climática¹². Los siguientes mapas ilustran, a modo de ejemplo, el aumento proyectado en el número de días al año caracterizados por olas de calor¹² bajo los escenarios RCP 2.6 —compatible con un calentamiento global por debajo de 2 °C para 2100— y RCP 8.5 —correspondiente a un calentamiento por encima de 4 °C— en la cuenca mediterránea y en América.

Δ DAYS

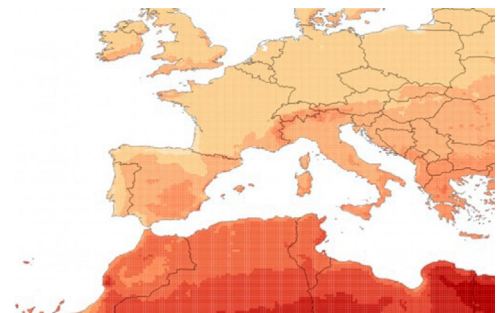
RCP vs historical



RCP 2.6



RCP 8.5

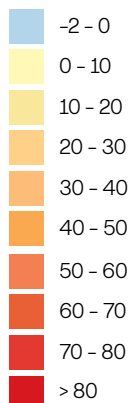


▲ Imagen 2.1

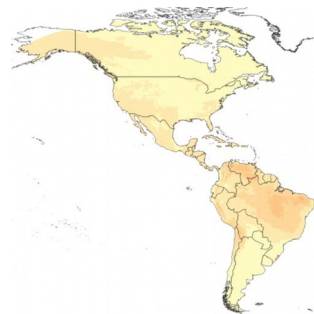
Variación media del número de días al año caracterizados por olas de calor (definidos según el WSDI – Índice de Duración de la Ola Cálida) en los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (2030–2050) en comparación con el período histórico (1990–2020) en Europa Central y Meridional

Δ DAYS

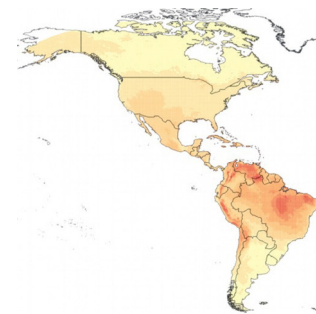
RCP vs historical



RCP 2.6



RCP 8.5



▲ Imagen 2.2

Variación promedio en el número de días por año caracterizados por olas de calor (definidos de acuerdo con el WSDI) en los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (2030–2050) en comparación con el período histórico (1990–2020) en América

12. En particular, se utilizan SSP1–RCP2.6 (en el mejor de los casos; <2 °C para 2100), SSP2–RCP4.5 (~2.7 °C para 2100) y SSP5–RCP8.5 (>4 °C para 2100).

ANÁLISIS CLIMÁTICOS DE ALTA RESOLUCIÓN

Para evaluar los efectos del cambio climático a nivel de activos individuales (por ejemplo, un solo parque eólico), es necesario implementar análisis climáticos de alta resolución. Estos análisis son esenciales para respaldar decisiones de adaptación más sólidas y específicas y para optimizar las inversiones en resiliencia.

Sin embargo, existe una brecha significativa entre la información producida por la investigación y las necesidades prácticas de quienes gestionan las infraestructuras: se necesitan herramientas más accesibles y orientadas a la práctica, desarrolladas con la participación de las empresas e instituciones que las utilizarán.

Para identificar con mayor precisión las áreas e infraestructuras más expuestas a los riesgos, es importante contar con datos y modelos capaces de proporcionar proyecciones detalladas a escala puntual e información clara sobre los **límites y niveles de incertidumbre**.

Mejorar la coordinación entre las autoridades públicas, los operadores privados y la comunidad científica representa uno de los principales desafíos para convertir los análisis en acciones concretas.

Para traducir los análisis de escenarios en planes de adaptación, es necesario modelar las vulnerabilidades específicas de los activos del Grupo. Esto permite identificar las soluciones de adaptación más eficaces. Estas soluciones buscan fortalecer tanto la resiliencia, es decir, la capacidad de operar en condiciones cada vez más desafiantes, y mejorar la respuesta a los impactos de los eventos adversos (**Response**).

En particular, el proceso implica los siguientes pasos:

- ▶ **Peligro:** Se definen indicadores específicos que describen los fenómenos climáticos relevantes para cada tipo de activo y se desarrollan proyecciones para evaluar su evolución futura bajo diferentes escenarios.
- ▶ **Vulnerabilidad:** Se desarrollan metodologías para cuantificar la vulnerabilidad de cada tipo de activo, posteriormente se combinan los peligros y vulnerabilidades climáticas para evaluar los impactos potenciales en cada escenario.

- ▶ **Prioridades de adaptación:** Se analizan los impactos climáticos y las prioridades de adaptación, considerando las características de sitios y activos específicos. En esta etapa se realizan evaluaciones de costo-beneficio para identificar las intervenciones más necesarias y eficaces.
- ▶ **Plan de adaptación:** Las necesidades de adaptación se consolidan en un plan de acción para aumentar la resiliencia y la capacidad de respuesta (**Response**) a eventos adversos, incluyendo recursos, medidas técnicas, procesos y procedimientos.

La información obtenida gracias a un enfoque patentado¹³, se integra en los procesos, informando las decisiones del Grupo y las actividades de la empresa como, por ejemplo, intervenciones de activos operativos, evaluación de inversiones, *business development*, *risk control* y acceso a fuentes de financiamiento preferenciales. Finalmente, la estrategia de seguro gestiona el riesgo residual y la cobertura ante eventos catastróficos.

13. "Método para generar mapas de riesgo sobre infraestructuras localizadas o distribuidas", patente concedida por el Ministero delle Imprese e del Made in Italy (Ministerio de las Empresas y del Made in Italy).

Cada tecnología y tipo de activo requiere medidas de adaptación específicas, descritas en las secciones siguientes, pero algunas prácticas son transversales, por ejemplo:

- *Sistemas de weather alerting* que permiten activar oportunamente el estado de prealerta, movilizando recursos y equipos para hacer frente a las emergencias;
- Herramientas y procedimientos para optimizar la identificación y gestión de fallas y la restauración del servicio;

Inspecciones visuales, termografía y sensores para mapear las necesidades de mantenimiento preventivo y garantizar condiciones óptimas de los activos.

Desde 2021, Enel ha establecido una política del Grupo para gestionar los riesgos y oportunidades del cambio climático.

La política *"Climate change risks and opportunities"* define un enfoque común para integrar estas temáticas en los procesos de la empresa, mejorando la resiliencia y creando valor sostenible a largo plazo. Adicionalmente,

para maximizar la eficacia de las medidas de resiliencia y response, Enel se compromete constantemente en el dialogo con todos los stakeholders para catalizar cualquier forma de colaboración que mejore el servicio a sus clientes.

Además de evaluar los riesgos físicos relacionados con el cambio climático para sus propias actividades, Enel ha realizado un análisis de riesgo climáticos para sus principales cadenas de suministro, incluidos módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, baterías estacionarias, cables, transformadores, estaciones de carga y materias primas como gas y carbón, centrándose en sitios de producción y en las principales rutas comerciales. Los eventos climáticos extremos, cada vez más frecuentes e intensos, pueden comprometer el transporte, el suministro y el funcionamiento de las instalaciones productivas (como en el caso de las condiciones de sequía en la zona del Canal de Panamá en 2023-2024, que han demostrado cómo el cambio climático puede influir en la logística global).

FRONTERAS TECNOLÓGICAS PARA LA ADAPTACIÓN

La innovación tecnológica representa una herramienta clave y una oportunidad para acelerar y facilitar la adaptación de las redes eléctricas y las plantas de generación a los efectos del cambio climático, fortaleciendo su resiliencia y capacidad de respuesta a los impactos de eventos extremos.

Las principales iniciativas que Enel está probando e implementando incluyen:

1. Adopción de **infraestructuras de comunicación innovadoras**, como los satélites Low Earth Orbit (LEO), para garantizar la conectividad y el control de activos incluso en áreas remotas o durante emergencias, apoyando a los equipos operativos y las actividades de operación y mantenimiento.
2. **Digitalización y automatización** de redes eléctricas, con la introducción de soluciones de edge computing, automatización distribuida e inteligencia artificial para:
 - Diagnosticar el estado de salud de los componentes y sistemas críticos (por ejemplo, telecontrol) y habilitar modelos de mantenimiento predictivo.
 - Identificar con anticipación situaciones de riesgo y planificar las acciones de intervención apropiadas (por ejemplo, gestión de la vegetación alrededor de las redes o el work force management en condiciones de emergencia).
 - Localizar con precisión fallas en redes de media y baja tensión, incluidas las líneas subterráneas, y mejorar la estimación del estado de la red para minimizar el tiempo de restauración del servicio.
3. Implementación de **soluciones avanzadas de diagnóstico y control** para plantas de generación.

Por ejemplo, para hacer frente a la escasez de agua, en las centrales hidroeléctricas se han adoptado soluciones capaces de operar a velocidad variable y ampliar el rango operativo de las turbinas a caudales reducidos, contribuyendo así a la resiliencia de las plantas, protegiendo los ecosistemas fluviales y aumentando la producción de energía renovable.

REDES DE DISTRIBUCIÓN

Peligros climáticos y desafíos de adaptación

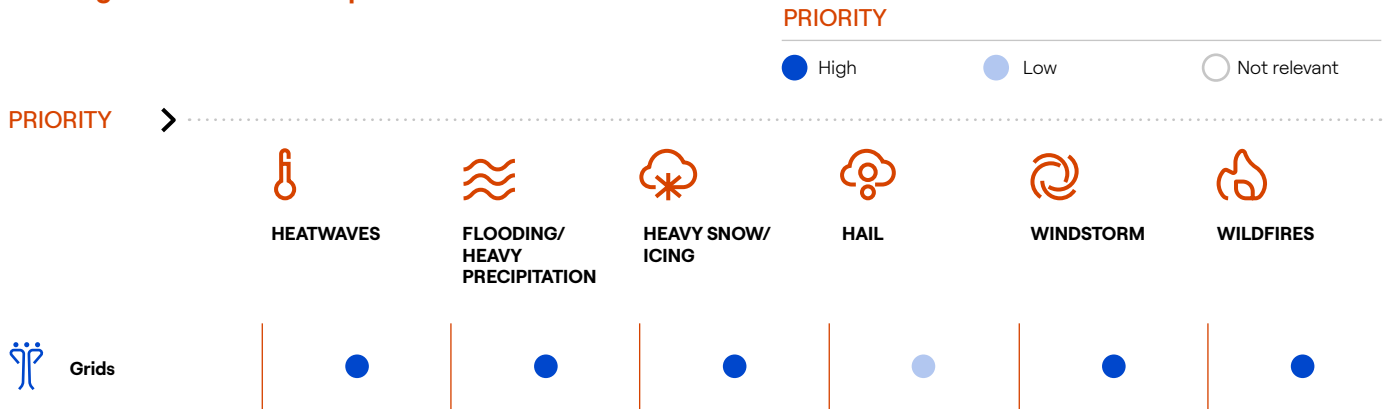
La infraestructura eléctrica está expuesta a condiciones climáticas adversas y, en consecuencia, a los efectos del cambio climático, que pueden comprometer la calidad y la continuidad del suministro de energía. Los eventos extremos —como olas de calor, tormentas de viento, inundaciones y nieve/hielo— pueden dañar la infraestructura eléctrica y poner en peligro la continuidad del servicio. Los cambios crónicos, como el aumento de las temperaturas medias, también pueden afectar al rendimiento de la red. En particular, las principales fuentes de riesgo son:

- **Olas** de calor que pueden dañar los cables subterráneos,

causando interrupciones, incluidas fallas múltiples.

- **Tormentas de viento** que pueden dañar las líneas aéreas (por ejemplo, por la caída de árboles sobre las líneas) y aumentar el riesgo de incendios.
- **Inundaciones** que pueden dañar las redes de cables subterráneos y/o provocar inundaciones en las subestaciones primarias.
- **Hielo** que puede acumularse en los conductores aéreos y provocar su rotura.
- **Incendios**, con un riesgo especialmente significativo donde coexisten redes aéreas y vegetación.

Eventos agudos – Matriz de impactos 2025



Resiliencia

En línea con la estrategia del Grupo, Enel Grids define directrices y medidas para mejorar la resiliencia y la capacidad de respuesta de acuerdo con un marco llamado “4R”: Risk Prevention (Prevención de Riesgos), Readiness (Preparación), Response (Respuesta) e Recovery (Recuperación). Este marco abarca todas las fases clave para gestionar y mejorar la resiliencia de la infraestructura con una visión end to end: desde las medidas preventivas de refuerzo y redundancia, hasta la gestión eficiente y eficaz de las operaciones de campo tras la ocurrencia de un evento climático extremo, incluida la pronta restauración de los servicios.

En la definición de las necesidades de adaptación (*Risk Prevention*), los datos climáticos se utilizan para evaluar las tendencias futuras de los fenómenos climáticos más

relevantes y sus posibles efectos en las áreas de concesión. Las intervenciones para aumentar la resiliencia de las redes pueden ser de dos tipos:

- **Reducir la vulnerabilidad de los elementos de la red**, por ejemplo, mediante el uso de cables subterráneos “jointless”, es decir, con la menor cantidad de juntas posible, reduciendo así los puntos débiles y la probabilidad de fallas.
- **Aumentar la redundancia y la flexibilidad**, reduciendo la probabilidad de que un fallo provoque interrupciones generalizadas del servicio y reduciendo así su impacto. Por ejemplo, aumentando las interconexiones y la capacidad de seccionar partes de la red para limitar el número de clientes afectados.

Dentro de esta estrategia, Enel Grids también adopta herramientas de **Readiness** y **Response** para optimizar la identificación de fallas, su gestión y la restauración del servicio en el menor tiempo posible después de un evento climático extremo. Cuando es necesario, también se establecen task force internas para apoyar a los equipos locales.

Un aspecto importante también implica la adopción de procedimientos y líneas guía para la gestión de emergencias que identifican roles y responsabilidades claros y prevén capacitación, simulacros de emergencia y alianzas con entidades específicas para garantizar que los equipos operativos puedan intervenir con rapidez.

En este sentido, Enel participa activamente en la construcción de un modelo de gestión de seguridad que garantiza la intervención y la colaboración en todas las etapas de una emergencia con todas las partes involucradas

(Protección Civil, Fuerzas Policiales y otras empresas que prestan servicios esenciales). Sus principales pilares son:

- Fortalecimiento de la relación público-privada y firma de protocolos de entendimiento con instituciones locales y fuerzas de policía;
- Simulaciones de crisis realizadas en colaboración con la policía civil, la policía militar y la protección civil;
- Herramientas comunes de previsión meteorológica para eventos climáticos adversos.

↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | Italia – Resiliencia a las olas de calor

Las altas temperaturas son un problema particularmente relevante para las redes de cable subterráneo. En Italia, este fenómeno es especialmente relevante durante el período estival. Una ola de calor produce efectos negativos como:

- **Reducción significativa de la capacidad máxima de los cables** debido a la persistencia de temperaturas muy altas durante varios días consecutivos y condiciones específicas del suelo, resultantes de precipitaciones escasas o ausentes durante el período;
- **Mayor riesgo de fallas en las infraestructuras**, causado por condiciones operativas excepcionales que superan

los parámetros de diseño estándar (definidos según las normas del Comité Electrotécnico Italiano, CEI), debido a un fuerte aumento simultáneo de la carga, en términos de potencia pico y consumo, y la persistencia de altas temperaturas incluso durante las horas nocturnas;

- **Fenómeno de las “fallas múltiples” en los cables**, es decir, un aumento de las fallas que, junto con el prolongado pico de demanda provocado por las altas temperaturas, llevan el sistema al límite, aumentando aún más la probabilidad de interrupciones en el servicio.



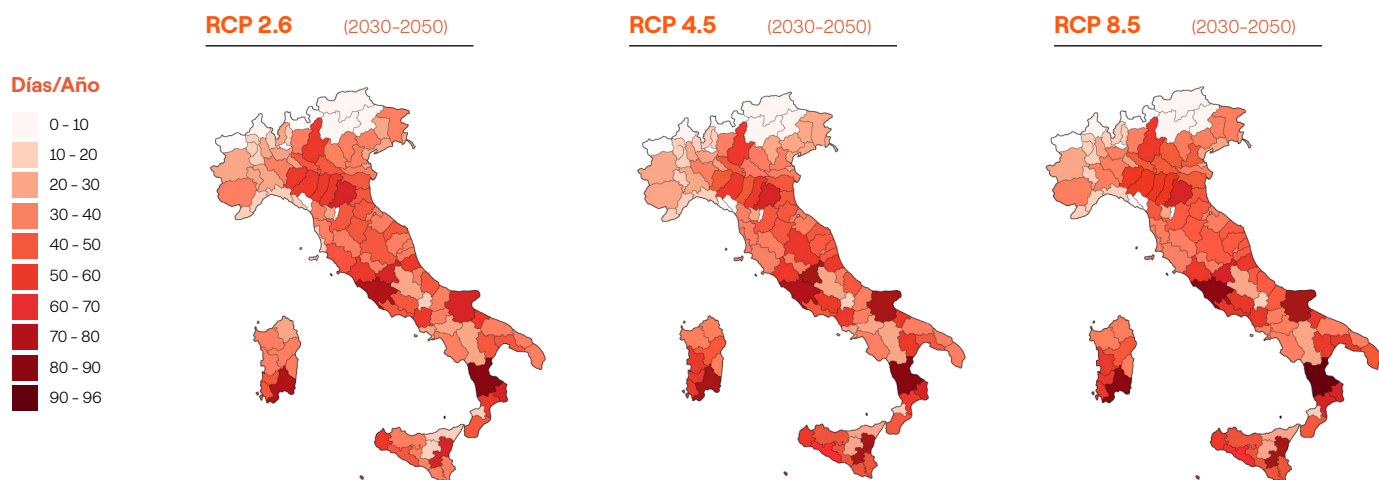
▲ Imagen 2.3

Impacto del sobrecalentamiento del suelo en los cables eléctricos subterráneos

Las olas de calor que afectaron a la zona de Catania en Italia en julio de 2023 pusieron en evidencia la necesidad de estudiar una evolución de los modelos de resiliencia de las redes de distribución.

Como se muestra en la imagen 2.4, se espera que las olas

de calor (un fenómeno que ya tiene un gran impacto en la actualidad) experimenten un aumento generalizado tanto en duración como en frecuencia en todos los escenarios futuros y en todo el territorio italiano.



▲ Imagen 2.4

Escenarios de olas de calor en las provincias italianas

Para aumentar la resiliencia de las redes italianas, se ha desarrollado un plan de acción destinado a reducir las interrupciones del servicio y su impacto en la red, incrementando la robustez y la redundancia, mediante:

- reconstrucción y refuerzo de secciones de la red

subterránea de media tensión (MT) existente utilizando componentes intrínsecamente resilientes;

- aumento de la capacidad de reabastecimiento de la red a través de nuevas líneas de MT que parten de las subestaciones primarias existentes.



↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | España - Resiliencia ante la ciclogénesis

Las tormentas ciclónicas atípicas y la ciclogénesis explosiva son fenómenos climáticos especialmente significativos en la Península Ibérica. Ambos eventos son de naturaleza ciclónica, caracterizados por fuertes lluvias y vientos extremos. Aunque sus efectos son similares, los dos eventos se originan en diferentes condiciones meteorológicas. El

más crítico, la ciclogénesis explosiva, se produce debido a una caída repentina de la presión atmosférica, que puede provocar precipitaciones abundantes, superiores a los 100 mm diarios, combinadas con vientos que pueden superar los 150 km/h.



▲ Imagen 2.5

. Efectos de la ciclogénesis explosiva

Las redes de distribución aéreas están expuestas a este tipo de estrés, que puede dañar postes y cables tanto directamente como por impacto con árboles y otros objetos. Aunque, por el momento, el regulador español no contempla el reconocimiento ni los incentivos para la mejora de la resiliencia de la red eléctrica en el esquema de remuneración, se han puesto en marcha planes para mejorar la calidad del servicio y otras iniciativas destinadas a gestionar situaciones de emergencia que afecten a las infraestructuras eléctricas:

- planes de adecuación, soterramiento y refuerzo de líneas aéreas para aumentar la resiliencia de la infraestructura existente;
- intervenciones para aumentar el mallado de la red y la posibilidad de reabastecimiento en caso de fallas;
- instalación de sistemas de automatización y telecontrol para acelerar los tiempos de restablecimiento del servicio;
- planes operativos de contingencia en coordinación con las instituciones locales.

↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | América del Sur – Resiliencia ante las tormentas

Las redes eléctricas de América del Sur son particularmente vulnerables a fuertes vientos y tormentas debido a la amplia presencia de líneas eléctricas aéreas. Por ejemplo, en agosto de 2024, **Santiago de Chile** se vio afectada por un evento meteorológico de intensidad excepcional, con ráfagas de viento que superaron los 120 km/h, que provocaron la interrupción de aproximadamente 200 líneas de media tensión y daños en varios cientos de postes. En octubre del mismo año, la ciudad de **São Paulo sufrió** un evento meteorológico de similar gravedad, con vientos que

superaron los 100 km/h; en este caso, más de 200 líneas de media tensión y 17 líneas de alta tensión quedaron fuera de servicio. Como lo confirman los estudios de atribución, ambos tipos de eventos extremos se han intensificado y se han hecho más frecuentes debido al cambio climático.

En ambas circunstancias, para garantizar restablecimiento rápido de la red, se desplegaron numerosos grupos electrógenos —más de 500 en Brasil— y se movilizaron equipos de apoyo procedentes de otros países.



▲ Imagen 2.6

Efectos de la tormenta de São Paulo, octubre de 2024

Para mitigar el impacto de eventos similares en el futuro, la estrategia del Grupo contempla varias iniciativas, entre ellas:

- Intervenciones **para aumentar la resiliencia** de las redes;
- Definición de un proceso estructurado para la gestión de *task forces internacionales*;
- Metodologías avanzadas de análisis predictivo para la **gestión de la vegetación**, con el fin de reducir la interferencia con la infraestructura eléctrica;
- Ejercicios y simulacros operativos destinados a probar la eficacia de la **respuesta de emergencia** y la coordinación entre todas las partes involucradas;
- Acuerdos y memorandos de entendimiento con las **autoridades locales** y los organismos encargados de hacer cumplir la ley.

Por ejemplo, a partir de 2024, se ha planificado un programa estructurado que incluye varios simulacros de emergencia en los principales países de América Latina donde opera el Grupo: Brasil, Argentina, Chile y Colombia.

Entre las **medidas de adaptación específicas para este ámbito** se encuentran la instalación de dispositivos tecnológicos que permitan desconectar únicamente la parte de la red directamente afectada, minimizando así el número de clientes afectados, y la mejora de materiales y/o soterramiento de redes en zonas con alto impacto vegetativo con el fin de **aumentar la resiliencia** de la infraestructura y, en consecuencia, mejorar el servicio a los clientes.

ADAPTACIÓN PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BRASIL

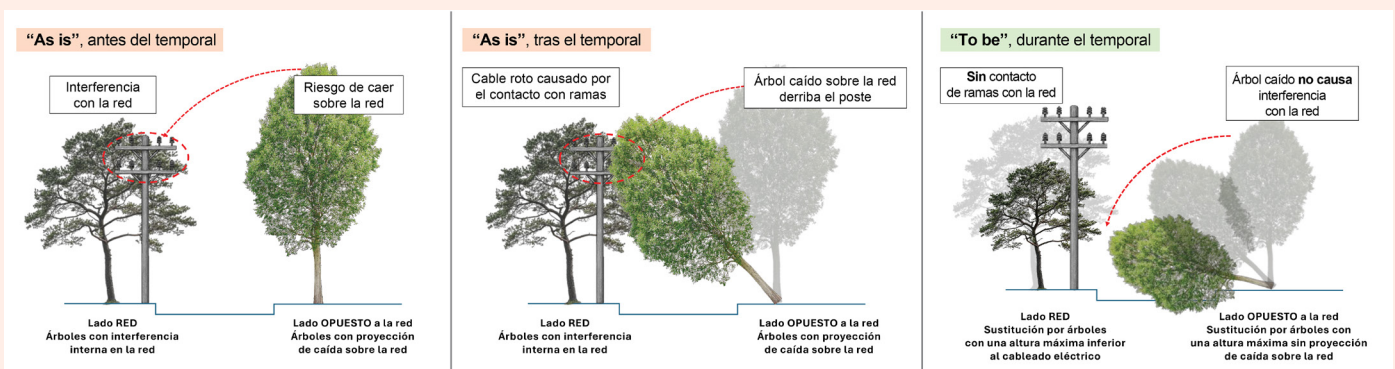
Enel opera redes de distribución en tres áreas distintas de Brasil, Ceará, Río de Janeiro, São Paulo, atendiendo a más de 15 millones de clientes. Las principales acciones implementadas para la adaptación son:

- Intervenciones para mejorar la resiliencia de la red, duplicación de las actividades de gestión de la vegetación e incremento del personal y de la rapidez de intervención;
- Mejora de la atención al cliente (por ejemplo, una plataforma en línea que informa a los clientes en tiempo real sobre las áreas afectadas por las interrupciones y los tiempos estimados de restablecimiento del servicio);
- Ejercicios específicos que simulan situaciones de contingencia en São Paulo, de manera integrada con los demás actores involucrados;
- Activación de una task force internacional de personal calificado de Enel en caso de contingencias;
- “Hortas em Rede” – Jardines en Red: un proyecto de Enel São Paulo que pone en valor los terrenos situados bajo las líneas eléctricas, reduciendo los costes de mantenimiento y mejorando la seguridad.

Los efectos positivos de estas iniciativas se reflejan en las prestaciones operativas, que han registrado **mejoras significativas en las tres áreas de concesión**. Los datos de 2025, comparados con los del año anterior, muestran una reducción de la duración de las interrupciones –del **16 % en Río de Janeiro** y del **24 % en el área de Ceará**, alcanzando más del **30% en el área de São Paulo**– y del número de clientes afectados, que **disminuyeron en más del 40%** en el área de **Ceará** y en más del **60% en las demás áreas de concesión**.

Las principales criticidades están asociadas a los eventos meteorológicos extremos, que provocan la caída de árboles sobre las líneas eléctricas. En algunas ciudades, como São Paulo, la red es casi totalmente aérea y atraviesa zonas con vegetación densa y de gran porte. En muchos tramos, las líneas pasan entre las copas de los árboles, lo que incrementa notablemente los daños causados por los fenómenos climáticos extremos.

Una iniciativa para eliminar los impactos de estos eventos es la **creación de corredores de seguridad a lo largo de las líneas**, sustituyendo las especies existentes por otras de bajo porte, de modo que eventuales caídas no afecten a las líneas. Una solución estructural, ya adoptada en numerosos contextos urbanos, es el **soterramiento de las líneas**. No obstante, ambas soluciones **requieren necesariamente la intervención de las instituciones locales**, indispensable para permitir a los operadores mejorar la resiliencia de la infraestructura y la calidad del servicio.



▲ Imagen 2.7

Beneficios de los corredores de seguridad a lo largo de las líneas

LOS DESAFÍOS DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS EN AMÉRICA LATINA

Los escenarios climáticos en América del Sur se caracterizan generalmente por un alto nivel de incertidumbre, derivado de la complejidad de la dinámica climática regional influenciada por fenómenos como El Niño y La Niña, que alteran cíclicamente las temperaturas y los patrones de precipitación con efectos que varían de una zona a otra.

Además, los modelos climáticos globales a menudo tienen dificultades para representar con suficiente fiabilidad las condiciones locales del continente sudamericano. La aplicación de estos resultados es más compleja tanto porque hay pocos modelos disponibles para esta área geográfica como porque las señales que producen exhiben un alto grado de incertidumbre.

La colaboración entre el sector de la investigación, las instituciones públicas y el sector privado debe acelerarse para mejorar la calidad, la resolución y la accesibilidad de los datos climáticos. Esto es esencial para desarrollar herramientas de información más confiables, actualizadas y específicas, capaces de apoyar eficazmente a los responsables de la toma de decisiones en la planificación estratégica y en la gestión de los riesgos relacionados con el cambio climático.

PLANTAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Peligros climáticos y desafíos de adaptación

Las plantas de generación de energía están expuestas a eventos climáticos, y cada tecnología (por ejemplo, eólica, solar, hidroeléctrica) está sujeta a diferentes fenómenos dependiendo de sus características específicas. Mientras los eventos extremos pueden causar daños y reducir o interrumpir las operaciones de la planta, las variaciones crónicas en las condiciones climáticas y los recursos

renovables pueden incrementar o reducir la producción. A partir del mapeo de fenómenos relevantes a nivel mundial, se realizan análisis anuales tanto de riesgos climáticos agudos (ver imagen 2.8) como crónicos para estimar el impacto futuro a medio/largo plazo en las plantas de generación de energía del Grupo.

Eventos agudos - Matriz de impactos 2025

PRIORITY	PRIORITY					
	HEATWAVES	FLOODING/ HEAVY PRECIPITATION	HEAVY SNOW/ ICING	HAIL	WINDSTORM	WILDFIRES
Thermal	●	●	○	○	●	●
Solar	●	●	●	●	●	●
Wind	●	●	●	●	●	●
Hydro	●	●	●	○	●	○

▲ Imagen 2.8

Fenómenos agudos relevantes para la tecnología

El análisis de los eventos agudos que afectan a las plantas de generación de energía se realiza en dos fases:

- **Screening preliminar** de los peligros a los que están expuestas las plantas de generación de Enel, considerando sus vulnerabilidades específicas e identificando las plantas de mayor riesgo;
- **análisis detallado de las plantas de mayor riesgo** para identificar posibles medidas de adaptación, incluidos análisis de costo-beneficio, destinados a prevenir daños directos y pérdidas de producción.

Para evaluar los riesgos en todo el parque de generación, el Grupo ha desarrollado el índice AERI (Acute Events Risk Index). El AERI es un indicador sintético del riesgo para plantas renovables relacionado con eventos climáticos agudos. Combina la vulnerabilidad de cada activo a un

fenómeno climático específico con los correspondientes escenarios climáticos futuros. En particular, muestra la proporción de capacidad instalada en mayor riesgo, sobre la base de la evolución de los escenarios para el período 2030-2050 en comparación con el período de referencia. Las plantas más expuestas se someten a análisis más detallados para identificar las medidas de adaptación necesarias, evaluando los costes y beneficios.

Por último, para evaluar el impacto de los efectos crónicos del cambio climático en la producción de los activos del Grupo, se han desarrollado funciones específicas para asociar cada variación de las variables climáticas (por ejemplo, temperatura, radiación, velocidad del viento, precipitación) con las probables variaciones en el potencial de generación de energía de las plantas de la cartera.



Plantas de energía solar

Los principales fenómenos climáticos relevantes para la tecnología fotovoltaica son:

- **Inundaciones, granizadas y ráfagas de viento:** pueden dañar la infraestructura y causar interrupciones en la producción;
- **Olas de calor:** reducen la potencia de los módulos fotovoltaicos, cuya eficiencia es inversamente proporcional a la temperatura; las olas de calor también disminuyen la capacidad de conversión eléctrica de los inversores (efecto derating);
- **Variación de la radiación solar:** afecta a la producción de plantas fotovoltaicas.

Enel ha introducido una amplia gama de medidas de adaptación para mitigar estos efectos, que incluyen:

- **Protecciones estructurales,** como el refuerzo estructural de paneles y componentes fijos de la planta;

- **Gestión del riesgo hidráulico** mediante, por ejemplo, la elevación de componentes eléctricos, la creación de canales/diques de protección, el uso de bombas de drenaje forzado, la impermeabilización de subestaciones y unidades de conversión, y la estabilización del suelo contra fenómenos de erosión;
- **Sistemas de gestión de la temperatura de la planta y reducción del derating,** como sistemas de protección contra la radiación solar directa, sistemas de enfriamiento mejorados y reducción de la relación DC/AC para maximizar la productividad de los paneles;
- **Prevención de incendios,** mediante el fortalecimiento de las actividades de limpieza de vegetación y franjas de "cortafuegos", el uso de pinturas/yesos resistentes al fuego, la instalación de tanques de agua para respuesta de emergencia y la instalación de cámaras térmicas para detectar rápidamente las condiciones de riesgo.

↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | Tormenta de viento en “El Paso”, Colombia

A principios de 2023, se produjo una tormenta de viento en la planta fotovoltaica de El Paso, con ráfagas que superaron los 100 km/h, causando daños en más de 20 estructuras (incluidos la desalineación y rotura de paneles fotovoltaicos).

Para hacer frente a este tipo de eventos, se instalaron sensores de viento ultrasónicos, que ofrecen una mayor precisión en la detección de tormentas de viento en comparación con los sensores analógicos y son capaces de activar rápidamente el comando de posicionamiento “stow”, lo que significa colocar el panel en una posición segura o de “descanso”, generalmente plano o inclinado, para reducir el riesgo de daños.



▲ **Imagen 2.9**
Impacto del viento extremo en la planta solar “El Paso”

Plantas eólicas

Los principales fenómenos climáticos relevantes para esta tecnología son:

- **La variación en los patrones** de viento: reducen la previsibilidad de la generación de energía eólica, lo que afecta la planificación energética. En áreas sujetas a sequía o desertificación, una mayor exposición al polvo y la arena puede acelerar el desgaste de los componentes móviles;
- **Ráfagas de viento**: pueden dañar turbinas, palas y torres, causando fallas mecánicas o eléctricas e interrupciones de producción;
- **Olas de calor y olas de frío**: pueden comprometer la eficiencia de los sistemas de producción. Enel implementa las siguientes medidas de adaptación, aplicando siempre una perspectiva de costo-beneficio para garantizar la operación y seguridad de la planta en condiciones climáticas extremas:
- **Sistemas para detectar la formación de hielo** y garantizar la operatividad a bajas temperaturas y en condiciones extremas de viento;
- Mejora de **los sistemas de refrigeración**.



↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | Estrés térmico y calor extremo en el “Valle de los Vientos”, Chile y “Chisholm View”, Estados Unidos

La planta “Valle de Los Vientos” en Chile está ubicada en una zona desértica caracterizada por grandes fluctuaciones de temperatura, que someten a los sistemas eléctricos a estrés y pueden reducir potencialmente su vida útil.

Para adaptar la planta a estas condiciones, se instaló un conducto para aumentar el flujo de aire en el sistema de enfriamiento del generador, lo que permite una regulación significativa de la temperatura incluso a plena capacidad. Además, se reforzó el sistema de aislamiento de los componentes del generador de turbina.

Este es un ejemplo de cómo las soluciones desarrolladas a través de la experiencia en la gestión de activos expuestos a condiciones particularmente extremas pueden convertirse en las mejores prácticas para adaptar los sistemas eléctricos de las turbinas eólicas. De hecho, esta solución

se aplica ahora a todos los sitios que estarán cada vez más expuestos al calor extremo y a la baja densidad del aire.

En mayo de 2024 se produjo una ola de calor con temperaturas superiores a los 40°C en Estados Unidos en la planta “Chisholm View”, provocando el fallo de la caja de cambios (el componente mecánico que permite variar la relación de transmisión entre el motor y las palas, permitiendo que la turbina se adapte a diferentes velocidades).

En este segundo caso, se decidió adaptar la planta a las condiciones de alto calor mediante el uso de un nuevo aceite sintético avanzado en la caja de engranajes reemplazada, con un índice de viscosidad más confiable y capacidades de protección mejoradas.



► Imagen 2.10

Intervención en la planta eólica “Valle de los Vientos”, Chile

Centrales hidroeléctricas

Los principales fenómenos climáticos relevantes para la tecnología hidroeléctrica son:

- **Cambios en la disponibilidad y estacionalidad de los recursos hídricos:** fenómenos como el retroceso de los glaciares, la alteración de los patrones de precipitación y la sequía prolongada;
- **Reducción de la eficiencia y fiabilidad de las plantas:** los fenómenos extremos, como las inundaciones, pueden disminuir la producción de energía y aumentar el riesgo de daños en la infraestructura.

Enel implementa múltiples medidas de adaptación para

gestionar y reducir los impactos potenciales del cambio climático en los recursos hidroeléctricos:

- **Repowering y flexibilización** de plantas para aumentar la eficiencia y adaptarse a los regímenes de flujo cambiantes;
- **Plantas fotovoltaicas flotantes** en embalses propios y de terceros, ayudando a reducir la evaporación;
- **Eliminación selectiva de sedimentos** para aumentar la flexibilidad operativa;
- **Coordinación de stakeholders** para gestionar las emergencias por sequía y los fenómenos meteorológicos agudos (inundaciones).

↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | Plantas fotovoltaicas flotantes – Italia

Enel está experimentando con el uso de plantas fotovoltaicas flotantes que permiten la producción de energía renovable sin consumo de suelo, al tiempo que reducen la evaporación y mejoran el rendimiento de los paneles gracias al efecto de enfriamiento proporcionado por la proximidad al agua.

Las plantas de *Venaus*, *Montelupo* y *Narzole* en Italia son las

primeras desarrolladas por el Grupo Enel en esta modalidad. Además, en *Venaus* se está instalando un sistema de “des-sedimentación continua” alimentado por la propia planta. Este sistema garantiza una limpieza constante y automática de los canales que abastecen los depósitos de agua, ayudando a mantener la capacidad de carga y reducir el riesgo de obstrucciones durante eventos extremos.



↳ Imagen 2.11

Plantas fotovoltaicas flotantes en Venaus y Narzole (cobertura de canales)

Generación Termoeléctrica

Los principales fenómenos climáticos relevantes para las tecnologías termoeléctricas son:

- **El aumento crónico de la temperatura del aire y del agua** y la reducción de los recursos hídricos, que son importantes para la refrigeración, reducen la eficiencia y la capacidad operativa de las centrales termoeléctricas;
- **Eventos climáticos extremos** como olas de calor, que ejercen una presión adicional sobre las plantas, comprometen su confiabilidad y requieren ajustes tecnológicos y de gestión para garantizar la eficiencia y la seguridad energética.

Enel implementa las siguientes acciones de adaptación, siempre desde una perspectiva de costo-beneficio, para garantizar la operación y seguridad de las plantas termoeléctricas a gas en condiciones climáticas extremas:

- **Sistemas de refrigeración alternativos/mejorados** para mejorar el intercambio de calor, aumentando así el umbral de derating, es decir, el nivel de temperatura a partir del cual el rendimiento comienza a deteriorarse;
- **Actualización de turbinas de gas** para aumentar la potencia de la planta y compensar derating causado por la temperatura del aire.

En los últimos años, Enel también ha llevado a cabo una serie de inversiones destinadas a aumentar el rendimiento de sus plantas de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) para reducir *derating* debido a las olas de calor y, al mismo tiempo, mejorar la eficiencia de estas plantas, reduciendo las emisiones específicas de CO₂ por unidad de energía producida.

EL PAPEL ESTRATÉGICO DE LOS RECURSOS HIDROELÉCTRICOS

La energía hidroeléctrica representa un recurso importante para la resiliencia climática gracias a su capacidad para:

- Mitigar la sequía, ya que los embalses hidroeléctricos liberan agua de manera controlada para garantizar el suministro de agua, apoyar la agricultura y preservar los ecosistemas;
- Gestionar las inundaciones, ya que regulan los caudales de los ríos, reduciendo los picos de inundación y protegiendo a las comunidades y la infraestructura;
- Apoyar la transición energética, ya que facilitan la integración de fuentes renovables variables no programables, como la eólica y la solar, contribuyendo a la estabilidad de la red.

Esta multifuncionalidad convierte a la **energía hidroeléctrica en un activo estratégico para los países y un pilar para la gestión sostenible de los recursos hídricos en un contexto de cambio climático**. Para reducir los riesgos y garantizar la continuidad del servicio, el mantenimiento programado, el análisis de datos en tiempo real y la capacidad de intervenir rápidamente durante eventos extremos son esenciales.

La operación de una central hidroeléctrica requiere conocimientos técnicos avanzados en ingeniería, hidrología, electromecánica y normativa medioambiental: solo personal cualificado puede controlar correctamente los caudales de agua, prevenir fallas en la planta, gestionar emergencias y optimizar la producción de energía.



FLEXIBILIDAD Y RESPUESTA A LA DEMANDA

El Grupo gestiona, además de los activos de generación, recursos que proporcionan flexibilidad al sistema, como la capacidad de almacenamiento electroquímico (BESS – sistemas de almacenamiento de energía en baterías) por más de 3 GW, y administra una amplia cartera de Demand Response (DR) de clientes industriales, comerciales y residenciales que suman cerca de 9 GW.

Las baterías y los sistemas de almacenamiento de energía son un activo relevante en la estrategia del Grupo, ya que favorecen el desarrollo de las energías renovables, aportan flexibilidad y resiliencia al sistema. Asimismo, desempeñan un papel fundamental para garantizar la continuidad del servicio frente a eventos extremos y la creciente variabilidad tanto de la generación renovable como de la demanda, influenciadas también por el cambio climático.

El demand response, o DR, es la capacidad de los clientes finales para reducir o desplazar temporalmente su consumo de electricidad en respuesta a las señales del mercado o las exigencias de la red. Representa una herramienta cada vez más importante para la gestión flexible de la demanda y para la seguridad del sistema eléctrico, especialmente en un contexto de fuerte crecimiento tanto de las fuentes de energía renovables no gestionables como de la demanda eléctrica. El DR es considerado una medida

potencialmente útil tanto para fortalecer la resiliencia operativa del sistema eléctrico como para apoyar las actividades de recuperación en situaciones de estrés causadas por eventos meteorológicos intensos.

En particular, el DR puede contribuir a mitigar los impactos de diferentes eventos extremos:

- **Olas de calor**, que aumentan significativamente la demanda eléctrica para refrigeración, sobrecargando las redes: en este contexto, el DR puede ayudar a contener los picos de carga, reduciendo el riesgo de interrupciones y aliviando la presión sobre la infraestructura.
- **Tormentas de viento**, inundaciones, hielo e incendios forestales, que pueden dañar físicamente las líneas y causar interrupciones en la red: el DR puede aliviar la carga en las áreas de riesgo, ayudando a limitar el número de clientes desconectados en caso de seccionamiento de la red y facilitando una recuperación gradual.

Por ejemplo, en el caso del hielo, puede ayudar reduciendo la carga en áreas críticas, evitando apagones generalizados y permitiendo una reactivación controlada; en el caso de los incendios, puede ayudar de manera preventiva a reducir la demanda en zonas identificadas como vulnerables.

↳ ADAPTACIÓN EN LA PRÁCTICA | Eventos de respuesta a la demanda

El DR ya ha demostrado generar beneficios tangibles en los sistemas eléctricos en diversos países. A continuación, se muestran algunos ejemplos en América del Norte y Australia:

- **Junio de 2025:** En América del Norte, el calor extremo requirió un uso récord de DR. Del 23 al 25 de junio, se pusieron a disposición de la red más de 2 GW, gestionando con éxito más de 90 intervenciones de despacho.
- **Julio de 2023:** Durante una ola de calor excepcional en Texas y Arizona, el DR ayudó a evitar emergencias. Al incentivar la reducción del consumo durante las horas

pico, se previnieron apagones y se mantuvo la estabilidad del sistema.

- **Diciembre de 2022:** Durante la tormenta Elliott en América del Norte, muchas plantas salieron de servicio. El DR fue crucial para reducir el consumo y restaurar la estabilidad de la red, evitando apagones generalizados.
- **En 2018** en Australia, en el marco del programa *Frequency Control Ancillary Services* (FCAS), la participación de la capacidad de DR y baterías contribuyó a reducir los costos del servicio en aproximadamente 70 millones de AUD en comparación con el año anterior.



3

**FACTORES
CLAVE PARA LA
ADAPTACIÓN**

La adaptación climática representa uno de los desafíos más complejos y multifacéticos de nuestro tiempo y, por lo tanto, requiere un enfoque integrado capaz de combinar intervenciones específicas y contextualizadas a nivel local con una visión estratégica y sistémica a escala nacional e internacional. Este desafío implica tanto la transformación de infraestructuras, sistemas económicos y entornos urbanos, como nuevas formas de governance y políticas públicas.

El éxito de las estrategias de adaptación depende en gran medida de la capacidad de las entidades públicas para desempeñar un papel de liderazgo, orientando los recursos públicos y privados hacia soluciones resilientes e innovadoras. Es importante, también que haya coherencia entre las políticas nacionales, las supranacionales y los objetivos globales de desarrollo sostenible, y que se definan marcos de incentivos para las inversiones en resiliencia.

La colaboración entre todos los stakeholders, incluso mediante alianzas multinivel, junto con un enfoque multidisciplinario, son factores necesarios para abordar un problema tan amplio y complejo con soluciones eficaces, sostenibles y socialmente legítimas. En este sentido, el rol institucional incluye la promoción de un diálogo constante y constructivo con una pluralidad de actores,

como la comunidad científica, el sector industrial y sus asociaciones, el mundo financiero y las organizaciones de la sociedad civil.

En este desafío, las finanzas son un factor habilitador esencial. Para implementar medidas de adaptación efectivas y garantizar la resiliencia y la seguridad socioeconómicas, es crucial fortalecer los mecanismos financieros y orientar nuevas inversiones, también a través de fondos internacionales, para apoyar especialmente las áreas y las infraestructuras más vulnerables y las infraestructuras estratégicas. Más concretamente, los fondos públicos de organismos internacionales (por ejemplo, el Banco Mundial, el Banco Europeo de Inversiones, etc.), regionales (por ejemplo, el Fondo Europeo de Recuperación) o nacionales en condiciones favorables pueden desempeñar un papel clave en la aceleración de las inversiones en adaptación.

En síntesis, la adaptación climática requiere coordinación institucional e inversiones específicas para fortalecer la resiliencia de infraestructuras y territorios. Las soluciones de adaptación deben construirse involucrando a todos los stakeholders y deben estar habilitadas por recursos financieros, instrumentos regulatorios y políticas adecuadas, promoviendo la adaptación como una oportunidad de crecimiento.

GOBERNANZA Y ALIANZAS ESTRATÉGICAS PARA LA ADAPTACIÓN

La participación activa y coordinada de todos los actores de la sociedad es un factor clave. Las alianzas público-privadas desempeñan un papel estratégico en la movilización de recursos y know-how y en la contribución al desarrollo de respuestas eficaces y duraderas. Estas colaboraciones deben enmarcarse dentro de una governance multinivel, que valore las competencias locales, fomente la elaboración conjunta de proyectos y garantice la coherencia entre los objetivos climáticos y las políticas de desarrollo.

La integración de la adaptación climática en la planificación urbana, territorial y de infraestructura es un paso crucial. Incluir criterios de resiliencia en los planes regulatorios, los presupuestos públicos y en las estrategias sectoriales – desde la movilidad hasta la gestión de los recursos hídricos – permite anticipar los impactos climáticos y reducir las vulnerabilidades sistémicas. Las infraestructuras energéticas son una piedra angular de esta estrategia de seguridad y resiliencia.



PLANES NACIONALES DE ADAPTACIÓN

La definición e implementación de los Planes Nacionales de Adaptación (NAP) estimula la colaboración efectiva entre los sectores público y privado de varias maneras:

- **Marco estratégico:** Una visión clara y objetivos a largo plazo, identificando prioridades nacionales y locales, son esenciales para orientar las inversiones privadas;
- **Necesidades de inversión:** Delinean los requerimientos, el papel del sector público y las oportunidades para el sector privado;
- **Coordinación de múltiples partes interesadas:** Facilita la colaboración y el intercambio de conocimientos y mejores prácticas, involucrando contrapartes privadas, académicas y comunidades;
- **Desarrollo de capacidades y transparencia:** Fortalecimiento de las capacidades y la transferencia de tecnología, asegurando transparencia y monitoreo del progreso para atraer más inversiones.

Para reforzar la eficacia de las políticas de adaptación al cambio climático, es esencial garantizar la plena coherencia entre los instrumentos de planificación a nivel regional y nacional.

Por ejemplo, en Europa, es crucial garantizar que el Plan de Adaptación de la UE y los Planes Nacionales de Energía y Clima (PNIEC) funcionen en niveles complementarios, con objetivos y medidas coherentes y sinérgicas. El **nuevo marco europeo** (Climate Resilience and Risk Management Integrated Framework y European Climate Adaptation Plan), previsto para 2026, será una oportunidad importante para definir la gobernanza y los instrumentos para llevar a cabo acciones concretas.

POLÍTICAS PÚBLICAS Y REGULACIÓN

El desafío de la adaptación no es solo tecnológico, sino también institucional, financiero y regulatorio. Fuentes internacionales autorizadas — como el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), las directrices de la OCDE y las recomendaciones de la Global Commission on Adaptation — destacan la necesidad de integrar los procesos de toma de decisiones de adaptación climática a largo plazo, apoyándolos con directrices adecuadas¹⁴ y mecanismos de incentivos.

En este contexto, la regulación es una herramienta clave para integrar la adaptación al cambio climático como un componente estructural y duradero del desarrollo económico sostenible, en particular para infraestructuras críticas como las redes de distribución de energía. Es indispensable definir marcos regulatorios claros, estables y coherentes, que hagan que las medidas de adaptación

sean eficaces, prácticas y replicables a gran escala.

En particular, la seguridad energética requiere un enfoque colectivo, basado en compartir buenas prácticas entre los operadores, autoridades reguladoras y stakeholders, así como adoptar normativas técnico-económicas y mecanismos tarifarios adecuados para dirigir y apoyar las inversiones necesarias. El marco regulatorio debe evolucionar de una lógica reactiva e impulsada por la emergencia a una lógica sistémica y habilitadora, capaz de fomentar la resiliencia, la innovación tecnológica y la eliminación de las barreras burocráticas y financieras para el desarrollo de infraestructuras. Esta evolución normativa y regulatoria es necesaria para construir un sistema energético capaz de adaptarse dinámicamente a los impactos climáticos y de asegurar la continuidad y la calidad del servicio a ciudadanos y empresas.

14. Algunos ejemplos: Comisión Europea, 2021 - "Directrices para la protección contra la resiliencia climática"; Consejo de Estándares de Canadá, 2016 - "Entorno construido resistente al clima (CRBE)"

Para ello, en lo que respecta a las redes eléctricas, el diseño de los esquemas de remuneración debe estructurarse para orientar y recompensar los esfuerzos e inversiones destinados a mejorar la resiliencia de las infraestructuras, asegurando que los operadores dispongan de los

recursos necesarios para planificar, construir y mantener infraestructuras resilientes. Además, es importante promover una cultura de colaboración e innovación continua.

MEJORES PRÁCTICAS REGULATORIAS PARA LA RESILIENCIA

En particular, en el contexto de las redes de distribución, resulta crucial contar con un marco regulatorio estable y claro que incentive las inversiones en resiliencia a través de mecanismos específicos. De hecho, al regulador se le pide reconocer el valor estratégico de las intervenciones destinadas a fortalecer la infraestructura eléctrica frente a eventos extremos, incentivando al distribuidor a actuar de manera proactiva en este ámbito.

La regulación italiana en materia de resiliencia de la red representa uno de los modelos más avanzados e innovadores del mundo. En los últimos años, la autoridad reguladora del sector ha trabajado para identificar las prioridades del sistema, estableciendo mecanismos e instrumentos regulatorios para incentivar las inversiones de los operadores en resiliencia y calidad. A partir de 2024, el regulador ha introducido un nuevo modelo de incentivos para intervenciones de desarrollo en redes de distribución¹⁵, entre las que se incluyen las de resiliencia, que prevé, entre otras cosas:

- **Análisis de costo-beneficio positivo:** Las intervenciones pueden acceder al modelo de incentivos solo si el análisis de costo-Beneficio (Cost-Benefit Analysis, CBA) tiene un resultado positivo (es decir, los beneficios superan los costos). En la evaluación de los beneficios se consideran también la reducción de la probabilidad de falla, el número de clientes que se benefician y el concepto de Value of Lost Load (VoLL), es decir, el valor económico atribuido a la energía "no servida".
- **Escenarios climáticos futuros:** Para diseñar intervenciones que sean realmente eficaces a largo plazo, los operadores pueden basar su planificación en proyecciones de eventos extremos (por ejemplo, olas de calor), en lugar de datos históricos, teniendo en cuenta los impactos esperados del cambio climático.

En conclusión, el modelo de incentivos se basa en una lógica de valorización del beneficio sistémico: a los operadores que implementan intervenciones que cumplen con los criterios establecidos, se les otorga una prima que reconoce parte del valor aportado al sistema, fomentando inversiones específicas y comportamientos virtuosos.

15. • Resolución de 18 de diciembre de 2018 – 668/2018/R/eel: Incentivos económicos para medidas destinadas a aumentar la resiliencia de las redes de distribución eléctrica. <https://www.arera.it/atti-e-provvedimenti/dettaglio/18/668-18>

• Anexo A de la Resolución 566/2019/R/eel – Texto integrado de la regulación basada en resultados para los servicios de distribución y medición de electricidad para el período 2016-2023, Título 10 Resiliencia del sistema eléctrico, disponible en el enlace.

• Resolución de 27 de diciembre de 2023 – 614/2023/R/eel: Actualización de las disposiciones sobre la regulación de incentivos para aumentar la resiliencia de las redes de distribución eléctrica, para el período 2019-2024, disponible en <https://www.arera.it/atti-e-provvedimenti/dettaglio/23/614-23>

• L. Lo Schiavo, C. Turconi, F. Villa, Incentivos regulatorios para mejorar la resiliencia de las redes de distribución eléctrica en Italia, 25.º CIRED, Madrid, 3-6 de junio de 2019, documento 2192]

• Anexo A de la Resolución 617/2023/R/eel: texto integrado de la regulación basada en resultados para los servicios de distribución y medición de electricidad para el período 2024-2027, título 10: disposiciones incentivadoras relacionadas con los beneficios de las intervenciones en las redes de distribución, disponible en el enlace: https://www.arera.it/fileadmin/allegati/docs/23/617-23alla_ti.pdf

FINANCIAMIENTO PARA LA ADAPTACIÓN

La financiación es esencial para escalar la adaptación a nivel global no solo para cerrar la creciente brecha entre las necesidades y los recursos disponibles — la llamada “adaptation finance gap”—, que en 2023 alcanzó más de USD 360 mil millones anuales según el Adaptation Gap Report (UNEP¹⁶, 2024), sino también para crear condiciones que permitan que las soluciones más efectivas sean accesibles y replicables.

Según las estimaciones, la financiación destinada a la adaptación representa alrededor del 5% de la financiación climática total (datos 2021-2022), y para 2030 los flujos actuales podrían ser cuatro veces inferiores a los requeridos¹⁷. Para aumentar los flujos hacia la adaptación, son importantes varios aspectos:

- Mejorar **el seguimiento** y las **metodologías** de medición de las inversiones y sus impactos;
- **Programas de financiamiento claros y específicos**, tanto de instituciones públicas nacionales, regionales e internacionales, que a través de instrumentos de subsidio directo (grants) o préstamos concesionales (de bancos de desarrollo y/o agencias de crédito a la exportación, ECAs);
- **Mejor percepción de los riesgos y rendimientos** para el sector privado y la colaboración público-privada, incluso mediante la diversificación de los instrumentos financieros (por ejemplo, garantías, blended finance, result-based finance) e incentivando la cooperación público-privada.

Por ejemplo, en 2021, BEI Global proporcionó al Grupo Enel un financing framework que resultó en un equivalente total de aproximadamente 900 millones de euros para apoyar planes de inversión específicos en América Latina (particularmente Brasil y Chile) tanto para redes como para plantas de energía renovable.

La contribución de las finanzas opera en múltiples niveles, incluidos los instrumentos para atraer capital privado.

Según Climate Policy Initiative, de las 60 instituciones financieras públicas examinadas, solo 13 habían asumido compromisos públicos específicos para el financiamiento de la adaptación. En este sentido, los bancos multilaterales de desarrollo desempeñan un papel importante. Iniciativas como el Global Shield against Climate Risks¹⁸, el Green Climate Fund o los Climate Adaptation Windows del African Development Bank demuestran cómo los instrumentos financieros pueden desbloquear capital privado en contextos de alto riesgo climático o en países con capacidad fiscal limitada.

El sistema financiero puede contribuir a escalar la adaptación integrando los riesgos físicos y de transición relacionados con el cambio climático en los marcos de toma de decisiones y asignación de capital. Por ejemplo, iniciativas como el Climate Risk Investment Framework de IIGCC¹⁹ y las medidas adoptadas por los bancos centrales para evaluar los riesgos e informar las actividades de supervisión²⁰ (por ejemplo, ECB, BoE)²¹ están impulsando una asignación más informada y resiliente, generando señales de mercado para empresas y territorios.

Finalmente, el financiamiento también es importante para fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas: desarrollar datos y escenarios climáticos, apoyar la innovación tecnológica, promover la cooperación territorial y garantizar el acceso equitativo al financiamiento, especialmente para las comunidades vulnerables y los países de bajos ingresos.

Sería recomendable, por lo tanto, perseguir objetivos de financiamiento para la adaptación climática. Para lograrlo, es importante involucrar al sector público y privado en planes de inversión específicos y fortalecer las infraestructuras estratégicas, con especial atención a la seguridad energética.

16. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

17. Estado y tendencias de la financiación para la adaptación al clima 2024 - Iniciativa sobre Política Climática, Centro Global de Adaptación

18. Iniciativa lanzada en la COP27 para aumentar la protección financiera de las poblaciones vulnerables

19. Grupo de Inversores Institucionales sobre el Cambio Climático

20. Informe anual del BCE sobre las actividades de supervisión 2024: prioridades de supervisión para 2024-2026; comunicado de prensa del BCE de julio de 2025: el BCE adaptará el marco de garantías para abordar los riesgos de transición relacionados con el clima

21. Banco Central Europeo (BCE); Banco de Inglaterra (BOE)

BIBLIOGRAFÍA

- ACER, "Metodología para calcular el valor de la carga perdida, el coste de la nueva entrada y la norma de fiabilidad", 2020
 - Agencia Internacional de la Energía (AIE), Resiliencia climática para la seguridad energética, 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/10229b31-fd82-4371-b92c-a554f95369ea/ClimateResilienceforEnergySecurity.pdf>
 - Comisión Europea, Orientaciones políticas para la próxima Comisión Europea 2024-2029, 2024. https://commission.europa.eu/document/download/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en?filename=Political%20Guidelines%202024-2029_EN.pdf
 - Comisión Mundial de Adaptación, Adáptese ahora: un llamado global al liderazgo en resiliencia climática, 2019. https://gca.org/wpcontent/uploads/2019/09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf
 - Eurelectric, Fortalecimiento de la resiliencia climática: estrategias para mejorar la resiliencia de los DSO contra el cambio climático, 2025. <https://www.eurelectric.org/wp-content/uploads/2025/07/Strengthening-climate-resilience-Strategies-for-enhancing-DSO-resilience-against-climate-change.pdf>
 - F. Giorgi, Treinta años de modelado climático regional: ¿Dónde estamos y hacia dónde vamos ahora?, 2019. doi:10.1029/2018JD030094.
 - Gigi Owen, Cambio ambiental global, ¿Qué hace que la adaptación al cambio climático sea efectiva? Una revisión sistemática de la literatura, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S09593780193120267>
 - Grupo de Inversores Institucionales sobre el Cambio Climático (IIGCC), Marco de Inversión en Resiliencia Climática (CRIF), 2025.
 - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial de 2018 sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C.
 - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Sexto Informe de Evaluación (AR6), 2021-2023.
 - Iniciativa de Política Climática y Centro Global de Adaptación, Estado y Tendencias en el Financiamiento de la Adaptación Climática, 2024.
 - Instituto de Recursos Mundiales, El triple dividendo de la construcción de resiliencia climática: hacer balance, avanzar, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00154>
 - L. Marchisio, F. Genoese, F. Vedovelli, F. Salterini y S. Costa, "Estimación del valor de la carga perdida en Italia a través de encuestas de costos de interrupciones", Conferencia Anual Internacional de AEIT (AEIT), Roma, Italia, 2022, págs. 1-5.
 - OCDE, Acelerar la adaptación al clima: un marco para evaluar y abordar las necesidades y prioridades de adaptación - Documentos de política económica, 2024. DATOS. <http://dx.doi.org/10.1787/8afaaeb8-en>
 - Prein AF, Langhans W, Fosser G, et al., Una revisión sobre el modelado climático regional que permite la convección: demostraciones, perspectivas y desafíos, 2015. doi: 10.1002/2014RG00047.
 - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Informe de adaptación, 2024. <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2024>
-

