

HACIA UNA TRANSICIÓN RESILIENTE: ADAPTACIÓN CLIMÁTICA EN LOS SEGMENTOS DEL SECTOR ELÉCTRICO

TOWARDS A RESILIENT TRANSITION: CLIMATE ADAPTATION IN THE SEGMENTS OF THE EKECTRICITY SECTOR

Ana María Ramírez Tovar¹, Juan Molina Castro²

Recibido: 14/8/2025 y Aceptado: 2/12/2025



11

1.- aramirez.tovar@blumergy.com
2.- juandavid.molina@colombiainteligente.org



Resumen

Eventos extremos como sequías, tormentas y variaciones en temperatura y precipitaciones están comprometiendo la continuidad, eficiencia y confiabilidad del servicio eléctrico. Ante esta creciente situación, en este artículo se analizan y proponen lineamientos y estrategias de adaptación climática diferenciadas para cada segmento en la prestación del servicio de la energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización. El marco conceptual toma como referencia estudios internacionales, como los de la Agencia Internacional de Energía y en el reconocimiento de la vulnerabilidad climática del país, que varía según las condiciones territoriales. Se propone diversificar las fuentes de generación, modernizar redes, usar modelos predictivos, fortalecer la interconectividad y fomentar la respuesta desde la demanda. Entre las conclusiones se destaca la necesidad de integrar la adaptación climática en la política energética nacional, fomentar la coordinación entre actores públicos, privados y comunitarios, y asegurar formación y financiamiento diferenciado. Se recomienda además implementar un sistema nacional de reporte anual de medidas de adaptación por parte de las empresas del sector eléctrico. Este reporte es útil para entidades reguladoras, empresas del sector eléctrico, formuladores de política pública y organizaciones que trabajan en resiliencia climática, aportando herramientas para una planificación energética adaptativa y sostenible.

PALABRAS CLAVE: Adaptación climática, Sistema eléctrico, Resiliencia energética, Eventos extremos, Planificación energética.

Abstract

Extreme events such as droughts, storms, and variations in temperature and precipitation are compromising the continuity, efficiency, and reliability of electricity service. Given this growing situation, this article analyzes and proposes differentiated climate adaptation guidelines and strategies for each segment in the provision of electricity services: generation, transmission, distribution, and commercialization. The conceptual framework draws on international studies, such as the International Energy Agency, and acknowledges Colombia's climate vulnerability, which varies across regions. Strategies include diversifying energy sources, modernizing distribution networks, using predictive models, strengthening interconnectivity, and promoting demand-side response. Key conclusions highlight the need to integrate climate adaptation into national energy policy, foster coordination among public, private, and community actors, and ensure targeted training and financing. The report also recommends implementing a national annual reporting system, where electricity companies disclose their adaptation measures, results, and lessons learned. This report is intended for regulatory agencies, energy companies, policymakers, and organizations working on climate resilience. It provides tools for adaptive and sustainable energy planning, supporting a fair and context-sensitive transition in Colombia's energy sector.

KEYWORDS: Climate adaptation, Power system, Energy resilience, Extreme weather events, Energy planning.

1. RESILIENCIA CLIMÁTICA

Históricamente, en Colombia, el 67% de la generación eléctrica en promedio depende de fuentes hídricas. Esta vulnerabilidad estructural, combinada con un clima cada vez más errático, convierte la adaptación climática del sistema eléctrico en una prioridad nacional. Sin embargo, mientras las políticas energéticas se han centrado en la mitigación de emisiones, la adaptación permanece dispersa, poco cuantificada y desigualmente distribuida entre los segmentos del sistema. Este artículo propone un enfoque estratégico para cerrar esa brecha.

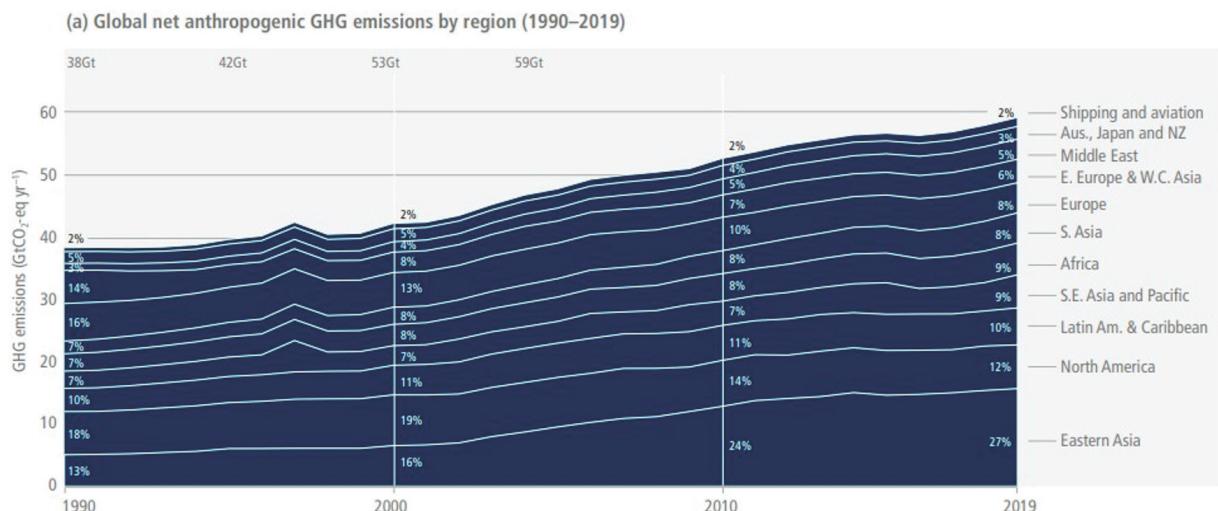
El clima recoge toda la variabilidad en el tiempo meteorológico y cambia de una época a otra (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2025). Por ejemplo, la temperatura de una ciudad no permanece constante en el tiempo, sino que, por el contrario, va cambiando. Por ejemplo, en la ciudad de Bogotá, la mañana puede ser fría y al medio día más cálido. Esta es la variabilidad propia del clima y lo mismo sucede con las estaciones durante el año, o los fenómenos como el Niño y la Niña en el Océano Pacífico ecuatorial debido

a cambios temporales en la interacción de los factores predominantes del clima (CIIIFEN, 2022).

Por el contrario, el cambio climático es una variación gradual y permanente en el tiempo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (CMNUCC) lo define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad del clima observada durante períodos de tiempo comparables (CMNUCC, 1992)”.

La causa de este cambio es debida a los Gases de Efecto Invernadero -GEI-, se considera como una causa antropogénica, dado que, desde finales del siglo XIX, la temperatura promedio de la superficie del planeta ha aumentado aproximadamente 2°C debido al aumento de las emisiones de CO₂ y otras actividades humanas (NASA, 2024). En la figura 1, se presenta las emisiones antropogénicas netas y globales de GEI por región desde 1990 hasta 2019.

Figura 1. Emisiones antropogénicas netas y globales de GEI por región (1990-2019)



Fuente: Climate Change 2022, mitigation of climate change, technical summary (IPCC, 2022)

Además de un crecimiento sostenido en el periodo representado, se evidencia que las emisiones no son equitativas por todas las regiones, sino que hay regiones que han tenido históricamente mayores emisiones que otras, especialmente después de la década del 2010.

Dado que todo sistema está hecho para funcionar bajo parámetros determinados, este cambio en el clima genera transformaciones territoriales que

se materializan como efectos adversos y que no son iguales para todos los países o sistemas. Debido a las condiciones de vulnerabilidad frente a los efectos negativos originados por el cambio climático, algunos países y sistemas sufren o sufrirán mayormente los impactos derivados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025).

1.1 Impactos del cambio climático en el sistema eléctrico

Todo el sistema eléctrico tiene implicaciones sobre el estado de los recursos de la tierra. El actual sistema eléctrico es altamente incidido por el clima, por ende, igualmente vulnerable a un amplio rango de impactos del cambio climático (EPA, 2025). Las amenazas que directamente afectan el sistema eléctrico con

el aumento de temperaturas, precipitaciones extremas, incendios, sequías, cambios en el patrón extremo de viento e inundaciones (IEA, 2023). En la tabla 1, se presenta un recuento de las amenazas del clima al sistema eléctrico actual.

Tabla 1. Vulnerabilidades de las fuentes de energía renovable.

Amenaza	Sistema	Vulnerabilidad
Aumento de temperatura	Central hidroeléctrica	Cambios estacionales en la temperatura aumentan y disminuyen la disponibilidad del agua.
	Biomasa y bioenergía	El aumento de temperatura afecta negativamente los cultivos energéticos, ya sea reduciendo sus rendimientos o causando su destrucción.
	Red de distribución eléctrica	Sobrecarga de la red que lleva a frecuentes cortes de energía, fallos en líneas de alta tensión, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas.
	Fotovoltaica (FV)	La eficiencia de los paneles se reduce en un 0.5% por cada 1°C de incremento de temperatura.
Incendios	Todos los sistemas eléctricos	Los incendios amenazan la infraestructura y la operación ininterrumpida de todos los sistemas eléctricos.
Deslizamientos	Todos los sistemas eléctricos	La erosión del suelo causa deslizamientos que amenaza la infraestructura eléctrica y su acceso a materias primas.
Aumento del nivel del mar	Sistemas eléctricos ubicados en zonas costeras	Las infraestructuras energéticas costeras están en riesgo de inundación.
	Infraestructura de gas natural (plantas de gas natural licuado)	Riesgo de inundación.
	Instalaciones marinas de extracción de hidrocarburos	Riesgo de inundación.
	Estaciones de servicio de la red interconectada	Riesgo de inundación.
Sequía	Centrales hidroeléctricas	Menor disponibilidad de agua reduce la producción de energía en plantas termoeléctricas que usan ríos o lagos como fuente de refrigeración.
	Biomasa / Bioenergía	Reducción en la productividad debido a menor disponibilidad de agua para los cultivos energéticos.
	Parques eólicos	Cambios en las condiciones del suelo afectan la productividad de los cultivos energéticos.
	Red de transmisión y distribución eléctrica	Riesgo de daños por estrés en la infraestructura.
Tormentas, ciclones, huracanes	Red de transmisión y distribución eléctrica	Cortes de energía y daños materiales a la red eléctrica.
	Fotovoltaica (FV)	Vientos muy fuertes causan depósito de polvo en los paneles, lo cual reduce su desempeño.
Granizo, tormentas eléctricas, rayos	Red de transmisión y distribución eléctrica	Cortes de energía y daños materiales a la infraestructura eléctrica.
	Fotovoltaica (FV)	Vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos como granizo o tormentas que dañan los módulos o provocan fallos.
Inundaciones	Parques eólicos	Riesgo de daño estructural.
	Sistemas eléctricos cerca de acuíferos	Riesgo de daño estructural.
	Red de transmisión y distribución eléctrica	Riesgo de destrucción de infraestructura.
	Centrales hidroeléctricas	Las inundaciones pueden saturar zonas de almacenamiento de agua.
	Biomasa / Bioenergía	Destrucción de cultivos y reducción de materias primas disponibles.

Fuente: Adaptación de (Sarma & Zabaniotou, 2021)

1.2 Resiliencia energética - eléctrica

De cara al panorama de vulnerabilidad que enfrenta el sistema eléctrico, se pueden tomar dos vías de acción: la mitigación y la resiliencia. La mitigación es cualquier acción que reduce o previene los gases de efecto invernadero, así como mejorar los sumideros de carbono que eliminan estos gases de la atmósfera (UNDP, 2024). Las acciones de mitigación se centran en la descarbonización virtual del suministro de energía hacia el 2050, lo que también se reconoce como “carbono-neutralidad al 2050”. Esto se ha planteado en diferentes escenarios con acciones como diversificación de fuentes de energía renovable: exploración de nuevos recursos como bioenergía, hidrógeno y combustibles a base de hidrógeno; aumento en acciones de eficiencia energética; cambios de comportamiento y; captura, uso y almacenamiento de carbono (WWF, 2022; AIDA, 2024; OECD, 2024). Así como, uso de energía nuclear (WEC, 2014).

16

En contraste, la resiliencia es diferencia entre la capacidad adaptativa de un sistema y su exposición a los riesgos presentados en la tabla 1 para el sector eléctrico.

Como estrategia, la resiliencia busca garantizar un suministro de energía continuo y confiable (ENEL X, 2024). La resiliencia climática, resulta entonces como un factor no sólo relevante para otros sistemas humanos, sino, para el eléctrico. De acuerdo con los descrito en (ONU, 2019), por “cada dólar invertido en infraestructura de resiliencia climática, implica un ahorro de seis dólares”.

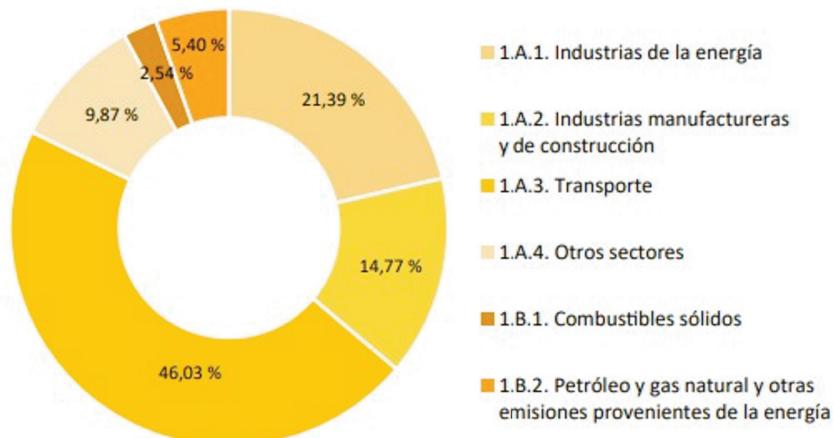
Así, la adaptación son las acciones que ayudan a reducir la vulnerabilidad de los impactos actuales o esperados del cambio climático (UNDP, 2024). Por ende, la adaptación adopta muchas formas y modalidades en función al contexto o territorio donde se ejecuta la acción adaptativa. Debido a la naturaleza inercial del cambio climático por el forzamiento radiativo y los diferentes reportes sobre aumento promedio entre 1 y 4°C hacia final del siglo; es innegable que la adaptación debe tener un papel fundamental en la política de cambio climático del sector eléctrico, que le permita garantizar la flexibilidad del sistema para garantizar su operabilidad frente a las fluctuaciones del clima.

1.3 Colombia frente al cambio climático y su incidencia en el sector eléctrico

A nivel global Colombia es responsable de alrededor del 0,57% de las emisiones globales de GEI (IDIGER, 2019). Dentro de estas emisiones, según el inventario de gases de efecto invernadero de Colombia, en el 2021 el sector eléctrico fue responsable del 32,71% de las emisiones (MinAmbiente, 2025). Este sector incluye la combustión de combustibles en industria, transporte, manufactura y

construcción; así como emisiones fugitivas de combustibles sólidos, petróleo, gas natural y otras. Por lo cual, las emisiones atribuidas al sector eléctrico como subsector del energético, son considerablemente más bajas, ya que tan solo transporte, manufactura y construcción representan alrededor del 60% de emisiones del sector energético.

Figura 2. Participación por categoría en las emisiones del sector energético en el inventario de GEI 2021, Colombia



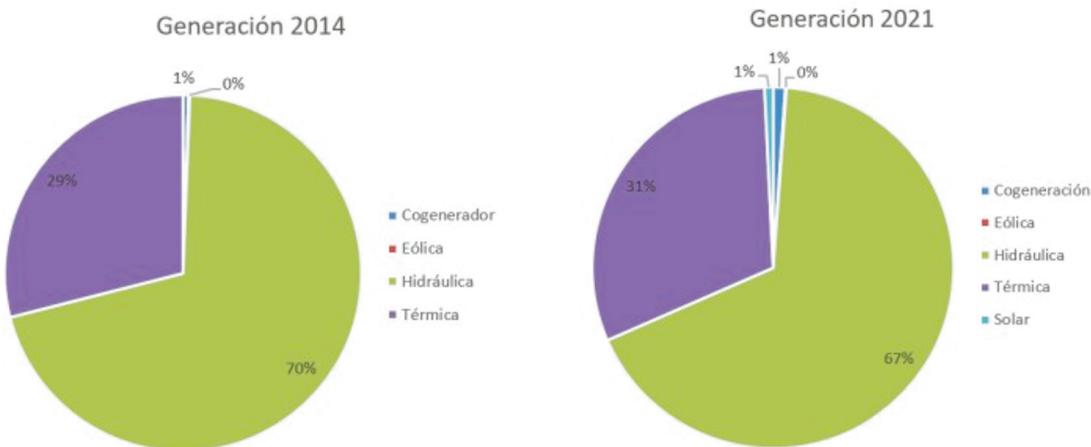
Fuente: Inventario GEI, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025

Así, aunque el subsector de energía eléctrica en Colombia no es una representación mayoritaria del GEI nacional, la inclusión de factores ambientales en la política energética ha estado presente desde el siglo pasado. Se inicia con la Ley 164 de 1994 que acoge el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, y el posterior desarrollo normativo que incluye la Ley 629 de 2000, el Protocolo de Kioto; Ley 1665 de 2013, aprobación del estatuto y vinculación a IRENA; la Ley 1844 de 2017, el Acuerdo de París; y, principalmente, la Ley 1715 de 2014 que fomenta la inclusión de fuentes de energía renovables no convencionales, así como sus subsiguientes complementos como la Ley 2099 de 2021 (MME, 2023). Este marco jurídico que llevó a un desarrollo regulatorio

que ha moldeado las acciones específicas que el país implementará en materia asociada a acciones de mitigación y adaptación al cambio climático de forma implícita.

A pesar del alto desarrollo normativo y regulatorio en materia, las acciones de mitigación y adaptación adaptadas por el país resultan estar aún en una etapa incipiente. Prueba de ello, es la figura 2, donde se compara la matriz de generación de energía eléctrica en 2014, con un porcentaje hidráulico del 70%, término del 29 y 1% de cogeneración; en contraste, para el 2021, el porcentaje de aportes hidráulicos es del 67%, mientras la térmica aumenta 31%, la cogeneración se mantiene en 1% y energía solar también con 1%.

Figura 3. Matriz de generación de energía eléctrica en 2014 y 2021



Fuente: Diagnóstico base para la transición energética justa (MME, 2023)

Como estrategia al cumplimiento de los Acuerdos de París, cuya meta es la reducción del 20% del GEI para el 2030, el Ministerio de Minas y Energía - MME, diseñó el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero Energético – PIGCCme, como instrumento de planificación que busca cumplir la meta de reducción de emisiones del sector minero energético, que corresponden a 11,2 millones de toneladas de CO₂eq, siendo el 17% de la meta nacional. No obstante, como principal mecanismo de gestión climática del sector, además de centrarse en las estrategias propias de mitigación, incluye un componente de adaptación, compensaciones y un plan integral de gestión del cambio climático.

En este artículo, se exploran las diferentes estrategias de adaptación que a nivel mundial se

han aplicado en el sector de la energía eléctrica, centrándose en toda la cadena de producción, desde la generación, hasta el usuario final.

En el segundo capítulo, se presenta un estado del arte a nivel internacional centrado en aquellas acciones específicas de adaptación; por su parte, el tercer capítulo explora con mayor detalle el escenario de la política energética en materia de adaptación para Colombia, especialmente con el PIGCME, centrado en la cadena de producción de energía eléctrica; y el último capítulo, presenta recomendaciones para mejorar la resiliencia del sector eléctrico en Colombia en función a la búsqueda sistema de literatura y análisis presentado en el cuerpo de este documento.

2. ÉXPERIENCIAS INTERNACIONALES

La adaptación al cambio climático en los sistemas eléctricos constituye una prioridad estratégica frente a los impactos crecientes de eventos extremos sobre infraestructuras críticas. La literatura reciente y la ampliación en industria han avanzado en la identificación y clasificación de medidas de adaptación, diferenciadas por segmento del sistema eléctrico —generación, transmisión, distribución y comercialización (especialmente relevante para el caso de Colombia)— y alineadas con enfoques multisectoriales, tecnológicos y territoriales.

Este capítulo sistematiza una tipología de medidas de adaptación a partir del análisis de 35 estudios internacionales, informes técnicos y planes nacionales, entre ellos desarrollados por organismos multilaterales (IEA, 2023; WB, 2021; ADB, 2021; IRENA, 2024; UNFCCC, 2023), iniciativas de cooperación (GIZ, 2021; IsDB, 2022), gobiernos nacionales (EE. UU., Canadá, Reino Unido, 2023) y empresas operadoras del sistema eléctrico en países industrializados. La revisión revela tendencias comunes en la adaptación sectorial, al tiempo que identifica vacíos y enfoques emergentes.

2.1. Adaptación por segmento del sistema eléctrico

El proceso de transformación del sistema eléctrico requiere una comprensión detallada de las particularidades y dinámicas de cada uno de sus segmentos. Este capítulo aborda la adaptación del sistema eléctrico por segmento, reconociendo que los retos tecnológicos, regulatorios y operativos no son homogéneos a lo largo de la cadena de valor de la electricidad.

En este sentido, se analizan de forma diferenciada las condiciones y necesidades de la Generación, los cambios estructurales en la Transmisión y Distribución, y las nuevas exigencias en la Comercialización y Operación del servicio.

2.1.1 Generación

La adaptación en la generación eléctrica presenta una amplia diversidad de medidas asociadas al tipo de tecnología. Diversos informes coinciden en que las plantas hidroeléctricas son especialmente vulnerables a la variabilidad hidrológica, mientras que las plantas térmicas enfrentan riesgos por el aumento de la temperatura del agua de enfriamiento y los incendios forestales (EUEI-GIZ, 2017; IEA, 2025; IRENA, 2024). El informe del Islamic Development Bank (IsDB, 2022) presenta una tipología de medidas específicas para generación térmica, hidroeléctrica, solar y eólica, incluyendo relocalización, integración de almacenamiento y rediseño de sistemas de enfriamiento.

Asimismo, la Estrategia a largo plazo de Turquía (UNFCCC, 2024) incorpora acciones para

diversificar fuentes de generación frente a la reducción esperada de caudales hídricos. Por su parte, estudios de modelación sobre sistemas hidro-dominantes proponen estrategias de inversión progresiva en tecnologías resilientes para mitigar la dependencia hidroeléctrica (Guerra, Tejada, & Reklaitis, 2019). Por su parte, el Banco de Desarrollo Asiático, recoge un compendio de medidas adaptadas de forma específica a las diferentes tecnologías, por riesgo asociado. Entre ellas, energías fósiles, térmicas, nuclear, hidroeléctrica, solar fotovoltaica, eólica, concentradores y seguidores solares, biomasa, biocombustibles, geotermia y, energía oceánica (ADB, 2021). En la tabla 2, se presenta el compendio de acciones de adaptación específicas para el segmento de generación identificadas.

Tabla 2. Acciones de adaptación para el segmento de generación

Acción	Variable de incidencia
Realización de evaluaciones de riesgo específicas del sitio y revisiones actualizadas de la evaluación de riesgos.	Gestión de Riesgos y Planificación
Uso de escenarios climáticos en la planificación futura.	Gestión de Riesgos y Planificación
Desarrollo de Estrategias de Resiliencia Climática (CRS) e planes de acción de adaptación.	Gestión de Riesgos y Planificación
Establecimiento de marcos de adaptación basados en pilares como Soportar, Absorber, Recuperar y Revisar y Adaptar.	Gestión de Riesgos y Planificación
Implementación de Sistemas de Gestión Integrados para riesgos y marcos de gestión de riesgos empresariales.	Gestión de Riesgos y Planificación
Investigación del uso de proyecciones de cambio climático locales para comprender efectos como las islas de calor urbanas.	Gestión de Riesgos y Planificación
Formalización de planes de acción de adaptación actualizados que detallan la propiedad del riesgo.	Gestión de Riesgos y Planificación
Colaboración intersectorial en resiliencia de infraestructuras.	Gestión de Riesgos y Planificación
Uso de transformadores de mayor capacidad para absorber mayor demanda ante calor.	Altas Temperaturas y Calor
Implementación de procedimientos para mitigar inundaciones en zonas vulnerables.	Inundaciones y Agua
Evaluaciones de riesgo de inundación para nuevas instalaciones.	Inundaciones y Agua
Desarrollo de procedimientos de gestión para inundaciones.	Inundaciones y Agua
Inversiones en resiliencia ante inundaciones.	Inundaciones y Agua
Pruebas de estrés ante inundaciones importantes.	Inundaciones y Agua
Servicios de advertencia y mapeo geoespacial.	Inundaciones y Agua
Uso de camiones cisterna y bombas para drenaje.	Inundaciones y Agua
Uso de tuberías plásticas de menor diámetro.	Inundaciones y Agua
Consideración del riesgo de ruptura de presas en la gestión.	Inundaciones y Agua
Recomendaciones ETR 138 para resiliencia de subestaciones.	Inundaciones y Agua
Sistemas de drenaje sostenible para subestaciones.	Inundaciones y Agua

Sección ganadores “call for papers”

Interconectividad para continuidad operativa si hay inundación.	Inundaciones y Agua
Consideración de carga de nieve sobre activos de gas.	Tormentas y Viento
Uso de tuberías plásticas por flexibilidad frente a subsidencia.	Movimiento del Suelo
Monitoreo de fugas por clima seco (“disparador de verano”).	Movimiento del Suelo
Desmantelamiento de tuberías de hierro antiguas.	Movimiento del Suelo
Medios de relleno controlado en cables subterráneos.	Movimiento del Suelo
Cables a mayor profundidad.	Movimiento del Suelo
Adaptación de sistemas de puesta a tierra.	Movimiento del Suelo
Manejo y monitoreo de vegetación.	Vegetación
Procedimientos ajustados a restricciones ecológicas.	Vegetación
Manejo para resiliencia ante incendios forestales.	Vegetación
Manejo de árboles en zonas de riesgo.	Vegetación
Ajustes a cronogramas de mantenimiento por plagas o anidación.	Vegetación
Uso de pronósticos y disparadores ante incendios.	Incendios Forestales
Coordinación con bomberos.	Incendios Forestales
Uso de tecnología (What3Words) para localización.	Incendios Forestales
Monitoreo y operación remotos (SCADA).	Otros Riesgos
Inversión en activos con IA.	Otros Riesgos
Acciones inmediatas y planes regulatorios escalonados.	Otros Riesgos
Baterías para clientes vulnerables.	Otros Riesgos
Consideración de interdependencias con otros sectores.	Manejo de Interdependencias
Ánalisis de riesgos en la cadena de suministro.	Manejo de Interdependencias
Integración del aprendizaje sobre interdependencias.	Manejo de Interdependencias
Coordinadores y campeones de resiliencia.	Monitoreo y Evaluación
Evaluación de resultados esperados/no esperados.	Monitoreo y Evaluación
Revisión de planes y reporte periódico.	Monitoreo y Evaluación

Fuente: recopilación propia, esta tabla ha sido elaborada a partir de las referencias citadas en este capítulo.

20

2.1.2 Transmisión y distribución

Las infraestructuras de transmisión y distribución concentran la mayor parte de los estudios de caso con medidas de adaptación concretas analizadas. En el Reino Unido, más de seis empresas distribuidoras y transportadoras (SSEN, 2024; SP Energy Networks 2024; NGED, 2024; UK Power Networks, 2024; Wales & West Utilities, 2024; Electricity North West, 2024) han

desarrollado planes de adaptación de cuarta generación, que incluyen evaluación detallada de riesgos climáticos, identificación de activos críticos, protocolos de respuesta ante eventos extremos, y programas de digitalización de redes. En la tabla 3, se presenta el compendio de acciones de adaptación específicas para la transmisión identificadas.

Tabla 3. Acciones de adaptación para el segmento de transmisión

Acción	Variable de incidencia
Todas las anteriores que también aplican a transmisión.	-
Revisión de especificaciones de conmutación y ventilación forzada.	Altas Temperaturas y Calor
Monitores de temperatura en subestaciones.	Altas Temperaturas y Calor
Soluciones de enfriamiento pasivo/forzado para subestaciones.	Altas Temperaturas y Calor
Mejora de interconectividad ante inundaciones.	Inundaciones y Agua
Mejora de resiliencia de líneas aéreas (detección de fallas, sensores).	Tormentas y Viento
Asegurar diseño según presión del viento y carga de hielo.	Tormentas y Viento
Modelos predictivos para priorizar inversiones.	Tormentas y Viento
Soterramiento/fortalecimiento de líneas HV.	Tormentas y Viento
Interconectores HV para rutas alternativas.	Tormentas y Viento
Manejo de vegetación en líneas aéreas.	Vegetación
Despeje de vegetación en activos expuestos a incendios.	Incendios Forestales
Posibilidad de desenergizar líneas ante incendios.	Incendios Forestales
Controles de continuidad en eventos extremos.	Manejo de Interdependencias
Revisión anual de planes.	Monitoreo y Evaluación

Fuente: recopilación propia, esta tabla ha sido elaborada a partir de las referencias citadas en este capítulo.

Estos documentos definen objetivos estratégicos y líneas de acción en materia de modernización de infraestructuras, implementación de sensores inteligentes, creación de redundancias operativas, y diseño de redes resilientes ante calor extremo, inundaciones y tormentas. La experiencia británica

destaca como referente global en planeación adaptativa sectorial obligatoria bajo el marco de la Climate Change Act (DEFRA, 2025). De forma equivalente, en la tabla 4 se presenta el resumen de acciones de adaptación para el segmento de distribución identificadas.

Tabla 4. Acciones de adaptación para el segmento de distribución

Acción	Variable de incidencia
Todas las anteriores que también aplican a distribución.	Todas las asociadas en la tabla 3
Transformadores sobredimensionados y controles avanzados.	Altas Temperaturas y Calor
Revisión de capacidad por altas temperaturas.	Altas Temperaturas y Calor
Automatización en baja tensión (LV).	Tormentas y Viento
Diseño de puesta a tierra por mapas de resistividad.	Movimiento del Suelo
Respuesta del lado de la demanda.	Otros Riesgos
Cables subterráneos con medios de relleno controlado.	Movimiento del Suelo
Coordinación ante incendios, monitoreo y SCADA.	Incendios Forestales
Evaluación continua de medidas implementadas.	Monitoreo y Evaluación

Fuente: recopilación propia, esta tabla ha sido elaborada a partir de las referencias citadas en este capítulo.

21

2.1.3 Comercialización

Aunque menos abordada, la dimensión comercial del sistema eléctrico también requiere estrategias de adaptación. El informe del World Economic Forum (2025) propone intervenciones a lo largo de las cadenas de valor energéticas, incorporando tecnologías de gestión de demanda, automatización y trazabilidad de datos climáticos.

La Guía del Banco Mundial sobre gobernanza (WB, 2021) sugiere mecanismos regulatorios y financieros adaptativos para el sector energía, lo que incluye revisión de contratos, incentivos a inversiones resilientes y criterios de adaptación en compras públicas; la tabla 5, resume las acciones de adaptación identificadas.

Tabla 5. Acciones de adaptación para el segmento de comercialización

Acción	Variable de incidencia
Uso de escenarios climáticos en la planificación futura.	Gestión de Riesgos
Desarrollo estrategias de resiliencia y planes de adaptación.	Gestión de Riesgos
Marcos basados en soportar, absorber, recuperar, adaptar.	Gestión de Riesgos
Coordinación intersectorial y análisis de interdependencias.	Manejo de Interdependencias
Respuesta del lado de la demanda.	Otros Riesgos
Evaluación de acciones y revisión periódica.	Monitoreo y Evaluación

Fuente: recopilación propia, esta tabla ha sido elaborada a partir de las referencias citadas en este capítulo.

2.2. Enfoques transversales e integrados

Los enfoques transversales han sido desarrollados en documentos como el de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2025), que presenta recomendaciones generales para aumentar la resiliencia climática y cibernética del sistema eléctrico, incluyendo herramientas de monitoreo predictivo y escenarios de estrés climático. El informe de BSR (2007) estructura 6 estrategias integradas que combinan identificación de riesgos, gobernanza institucional, e innovación tecnológica.

El Banco Mundial (WB - ESMAP, 2011) desarrolla una matriz de vulnerabilidad tecnológica que permite evaluar impactos climáticos

sobre diferentes componentes del sistema, una herramienta clave para operadores y reguladores. A nivel regional, el estudio de GIZ-SICA (2021) en Centroamérica propone análisis de brechas por segmento (generación, transmisión y distribución), con énfasis en la articulación entre actores públicos, privados y comunitarios.

El documento del World Economic Forum (2025) también resalta el valor de la innovación tecnológica como catalizador de la adaptación, mostrando ejemplos de digitalización, automatización y análisis de datos en servicios públicos de energía.

2.3. Mejores prácticas y tendencias emergentes

22

El análisis documental permite identificar adicionalmente un conjunto de mejores prácticas que están definiendo el estándar de adaptación climática en el sistema eléctrico:

- Diversificación tecnológica: Disminuir la dependencia de fuentes vulnerables, como la hidráulica, mediante el despliegue de renovables distribuidas apoyadas por el almacenamiento de energía (ART, 2024; IRENA, 2024).
- Digitalización y redes inteligentes: Ampliar el uso de tecnologías inteligentes de monitoreo, automatización y control en tiempo real (SSEN, 2024; NGED, 2024).
- Descentralización y enfoque territorial: Diseñar estrategias adaptativas

específicas a condiciones climáticas y socioeconómicas locales (GIZ-SICA, 2021).

- Instrumentos financieros y regulatorios: Desarrollar líneas de defensa financiera y marcos regulatorios que incluyan la adaptación como obligación técnica y económica (ECB, 2024; WB, 2021; UNIDO, 2024).
- Gobernanza climática y planificación participativa: Incorporar la adaptación como principio transversal en la gobernanza del sistema eléctrico, incluyendo estándares y criterios de calidad climática en licitaciones y regulaciones (UNIDO, 2024; EPA, 2024).

3. CASO COLOMBIA

A partir de las experiencias y tendencias identificadas a nivel internacional, se explora cómo el país ha incorporado la adaptación al cambio climático en su política energética. Se analiza el

instrumento de gestión del clima nacional para garantizar la resiliencia de su sistema eléctrico ante los riesgos climáticos presentes y futuros.

Por ejemplo, así como a nivel global existen numerosas estrategias de cara al cambio climático, en Colombia se ha adelantado lo propio, tal como se explicó en el capítulo 1, el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero-

Energético (PIGCme) es la herramienta rectora en materia de acciones y líneas estratégicas con enfoque en mitigación y adaptación.

3.1. Revisión documental medidas actuales en el PIGCme

A partir de su revisión sistemática, se analiza bajo tres aspectos clave, la distribución de acciones por segmento del sistema eléctrico (excluyendo las actividades del componente de gobernanza, así como las asociadas a minería o hidrocarburos sin fines eléctricos), el equilibrio entre tópicos climáticos y la operacionalidad de las medidas planteadas.

En la tabla 6, se presenta el análisis donde cada fila representa la línea estratégica y las acciones asociadas. En función a cada acción, se seleccionó si aplica para cada segmento de Generación (G), Transmisión (T), Distribución (D) o Comercialización (C), según la estructura del sector eléctrico en Colombia. El último bloque de columnas, indica si dicha acción hace referencia mitigación (M) o adaptación (A).

Tabla 6. Análisis de las acciones del PIGCme

Línea estratégica	Acción	G	T	D	C	M	A
Eficiencia energética	Fortalecimiento del programa de uso racional y eficiente de la energía (PROURE)	x	x	x	x	x	
	Gestión de la oferta	x			x	x	
Generación de energía	Diversificación de la matriz energética	x				x	
	Transformación de las ZNI	x				x	
Gestión de la demanda	Gestión eficiente de la demanda de energía		x	x	x	x	
	Agregar de la demanda				x	x	
Emisiones fugitivas	NA - Enfocado a extracción de hidrocarburos					x	
Sustitución energética y nuevas tecnologías	Electrificación y sustitución por energéticos menos carbono intensivos	x			x	x	
	Nuevas tecnologías de generación	x				x	
Infraestructura resiliente	Gestión del riesgo climático en ductos y líneas de transmisión y distribución		x	x			x
	Coordinación con autoridades viales	x	x	x			x
	Gestión con autoridades portuarias	x					x
Planificación de corto y largo plazo	Inclusión de variables de riesgo en los instrumentos de planificación (largo plazo)	x	x	x	x		x
	Generar un sistema de análisis de riesgo climático y de alerta (corto plazo)	x	x	x	x		x
	Planificación empresarial (corto y largo plazo)	x	x	x	x		x
Gestión del entorno	Biodiversidad	x	x	x	x		x
	Estrategia de desarrollo y relacionamiento territorial	x	x	x	x		x
Información para la adaptación	Fortalecimiento de los sistemas de información de eventos y amenazas climáticas	x	x	x	x		x
	Investigación sobre impactos de nuevas tecnologías y procesos en la canasta energética	x	x	x	x		x

El análisis evidencia que el enfoque adaptativo está más presente en los segmentos de transmisión, distribución y comercialización, lo cual es coherente con su mayor exposición a impactos físicos directos como vientos extremos, inundaciones o sobrecargas térmicas. En cambio, la generación carece de medidas de adaptación específicas, lo que representa una brecha crítica considerando su vulnerabilidad a la variabilidad climática y a la dependencia de fuentes hídricas.

También es notorio que la mayoría de las medidas son duales: al menos 8 de las 20 acciones tienen componentes simultáneos de mitigación y adaptación, lo que muestra una oportunidad para sinergias institucionales y financieras. Aun así, la cantidad de acciones no implica necesariamente una distribución presupuestal equitativa, lo cual debe ser evaluado en etapas de implementación, frente a esto, se ha priorizado más la mitigación como la diversificación de fuentes de energía renovable, más que otras medidas complementarias de adaptación.

Desde el punto de vista cualitativo, las acciones de mitigación se perciben más estructuradas, con rutas claras de implementación. Esto es

evidente en líneas como eficiencia energética, diversificación de la matriz, electrificación o gestión de la oferta y demanda, todas con antecedentes regulatorios y métricas de seguimiento consolidadas. Por el contrario, las acciones de adaptación tienden a ser más genéricas o declarativas, especialmente aquellas que dependen de la articulación interinstitucional (v.gr., gestión con autoridades portuarias o inclusión de riesgo en la planificación). En algunos casos, la ambigüedad metodológica (como en la gestión de la biodiversidad o estrategias de desarrollo territorial) dificulta su implementación concreta o su monitoreo técnico.

No obstante, cabe destacar que ciertas acciones adaptativas —como los sistemas de alerta climática o el análisis de riesgo para infraestructuras— sí presentan un mayor nivel de madurez conceptual y son técnicamente viables si se integran con plataformas existentes en entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- y la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME-.

3.2 Reforzamiento del PIGCme con medidas internacionales de adaptación climática

Si bien este instrumento ha sido el punto de partida específico para el sector minero-energético en materia de gestión del cambio climático, plantea en su mismo contenido que es un proceso en diseño y debe evaluarse, así como complementarse de forma continua. En el análisis presentado se encuentran

oportunidades de mejora en su aplicación, al comparar las acciones actuales del plan con las medidas reportadas a nivel internacional, es posible formular recomendaciones para fortalecer su robustez técnica y aplicabilidad frente al componente de adaptación.

3.2.1. Generación: del reconocimiento a la especificidad tecnológica

El segmento de generación es el menos desarrollado en materia de adaptación en el plan actual. Las acciones se centran en la diversificación de la matriz y transformación de las Zonas No Interconectadas (ZNI), sin abordar vulnerabilidades climáticas específicas por tipo de tecnología.

Como acciones complementarias, se sugiere:

- Incluir un subcomponente técnico diferenciado por tecnología, como lo sugiere el IsDB (2022) y el ADB (2021): rediseño de sistemas de enfriamiento para térmicas, diversificación en zonas hidro-dependientes, integración de almacenamiento en solares

y medidas contra vientos extremos en eólicas.

- Incorporar herramientas como evaluaciones de riesgo sitio-específicas, escenarios climáticos locales y estrategias de adaptación escalonada, siguiendo experiencias de Turquía (UNFCCC, 2024) e IEA (2025).

- Adoptar un marco estructurado de resiliencia como “Soportar, Absorber, Recuperar y Adaptar”, para guiar la inversión y planificación, inspirado en la práctica del Asian Development Bank.

3.2.2 Transmisión y distribución: de la identificación al estándar operativo

Aunque estas infraestructuras son las más cubiertas en acciones de adaptación, muchas de ellas son generales (coordinación con autoridades, gestión del riesgo), sin detallar procedimientos técnicos, umbrales o inversiones requeridas. A propósito, hoy la literatura y acciones de países como Inglaterra, ofrecen un amplio detalle de estándares operativos que recientemente se han probado con éxito, así como planes de adaptación que combinan la evaluación climática de activos críticos, protocolos ante eventos extremos, revisión anual de medidas e integración de vegetación y riesgo por incendios en mantenimiento. En paralelo, se recomienda incorporar acciones técnicas específicas como:

- Uso de transformadores flexibles y enfriamiento pasivo en subestaciones.
- Digitalización para mejorar el monitoreo, sensores climáticos, y automatización de redes baja tensión.
- Diseño estructural considerando presión del viento y cambios de temperatura, con modelos predictivos para priorizar la gestión y refuerzo de líneas.

25

3.2.3 Comercialización

La dimensión comercial aparece sin medidas específicas que integren la adaptación en contratos, mercados o regulación tarifaria. Se requiere dotar al sistema eléctrico colombiano de una regulación que incentive y permita una respuesta efectiva a riesgos climáticos, sin limitarse a los componentes físicos del sistema. Aquí, se identifica la necesidad de promover innovación adaptativa, lo que implica un análisis de la regulación actual, se propone entonces:

- Incorporar instrumentos regulatorios adaptativos: como revisión de contratos bajo escenarios climáticos; criterios de adaptación en compras públicas y licitaciones privadas con incentivos a inversiones resilientes.

- Promover soluciones de gestión de la demanda adaptativa, como sistemas de almacenamiento para usuarios críticos y comunitarios, tarifas dinámicas según eventos extremos y trazabilidad climática de la energía.
- Integrar elementos de interdependencia sectorial y gobernanza climática, como lo propone el WEF (2025) y el WB (2021).

3.2.4. Enfoques transversales

Aunque se identifican acciones transversales (información climática, biodiversidad, planificación), no se presentan con marcos metodológicos específicos ni con articulación a sistemas existentes como el del IDEAM o los planes territoriales.

La experiencia internacional indica que se debe institucionalizar la adaptación como eje estructural del sistema eléctrico, especialmente en países en vía de desarrollo como Colombia, cuya capacidad de mitigación es también limitada. Para ello, se recomienda reforzar las siguientes acciones como política explícita del PIGCme:

- Aplicar herramientas como matrices de vulnerabilidad tecnológica (WB-ESMAP, 2011); escenarios de estrés climático (IEA, 2025); indicadores de calidad climática en licitaciones (UNIDO, 2024).
- Fomentar la co-creación con territorios y participación local como lo destaca GIZ-SICA (2021) para integrar contexto climático, cultural y social.

4. CONCLUSIONES

26

El sistema eléctrico colombiano enfrenta una vulnerabilidad estructural significativa frente al cambio climático, debido a su alta dependencia de fuentes hídricas y la creciente exposición a eventos climáticos extremos. Se presenta un análisis donde se evidencia que la resiliencia climática del sistema eléctrico no solo es urgente, sino estratégica para garantizar la estabilidad del suministro eléctrico. Aunque Colombia tiene una baja participación en las emisiones globales de gases de efecto invernadero, su alta exposición a fenómenos como El Niño, La Niña, inundaciones, sequías y tormentas, demanda que la adaptación climática tenga un papel central en la política energética nacional.

No obstante, dado que las emisiones de GEI a nivel global de Colombia representan poco menos del 0,6% y dentro de las cuáles el sector eléctrico incorpora menos del 16%, en la política climática debería tener una mayor relevancia en aspectos de adaptación, sin que esto implique quitar rigor a las actuales medidas de mitigación en materia de energía eléctrica. Ello, debido a que, por la capacidad del sector en incidir sobre el cambio climático, es más factible que deba adaptarse, a que tenga una incidencia global relevante en mitigación. Un aspecto clave que surge del presente análisis comparado, es el reto de trasladar buenas prácticas internacionales a

realidades nacionales o locales, considerando las especificidades técnicas, regulatorias y sociales de cada territorio. ¿Cómo pueden los países adaptar estos enfoques globales a sus propias condiciones, capacidades y vulnerabilidades, especialmente aquellos con una alta dependencia de fuentes energéticas vulnerables o infraestructuras aún en desarrollo? La pertinencia de la adaptación depende así de la capacidad para contextualizar las soluciones y fortalecer los marcos normativos e institucionales.

Con base en la revisión internacional sobre la adaptación al cambio climático, en los sistemas eléctricos se destaca la importancia de adoptar estrategias integrales, flexibles y orientadas tanto a la diversificación tecnológica como al fortalecimiento institucional. Las experiencias de países y organismos multilaterales demuestran que la combinación de innovación tecnológica, modernización de infraestructuras, planificación basada en riesgos y gobernanza participativa resulta fundamental para construir sistemas eléctricos resilientes frente a fenómenos climáticos cada vez más extremos y frecuentes.

Frente a ello, el análisis sobre las acciones del PIGCME evidencia que el sistema eléctrico colombiano cuenta con una base de acciones

estratégicas sólidas en mitigación, particularmente en los eslabones de oferta y eficiencia.

Sin embargo, el pilar adaptativo requiere fortalecimiento operativo y financiero, sobre todo en el segmento de generación. Avanzar hacia una mayor integración entre medidas estructurales (infraestructura y planificación) y medidas de gobernanza (gestión del entorno y participación local) será fundamental para consolidar una transición energética resiliente y territorializada.

Finalmente, la adaptación climática del sistema eléctrico colombiano requiere de la ampliación del

enfoque actual en el PIGCME. A partir de las buenas prácticas internacionales, es posible avanzar desde una formulación general y declarativa hacia un sistema eléctrico adaptativo, basado en estándares técnicos, análisis de riesgo localizado, planificación dinámica y gobernanza transversal. La inclusión de estas medidas reforzará no solo la capacidad de respuesta ante eventos extremos, sino también la confiabilidad técnica y financiera del país ante organismos multilaterales y socios internacionales en la transición energética justa.

5. BIBLIOGRAFÍA

ADB. (2021). Climate Risk Country Profile: Central Asia. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/climate-risk-country-profile-central-asia>

AIDA. (14 de Noviembre de 2024). AIDA. Obtenido de 5 acciones para que los países hagan frente al cambio climático.

ART. (2024). Climate Resilience in the Energy Sector: Lessons from Australia, Canada, and the UK. Applied Resilience Technologies.

BSR. (2007). Adapting to Climate Change: A Guide for the Energy and Utility Industry. https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Energy_Utils.pdf

CIIIFEN. (2022). CIIIFEN. Obtenido de El niño oscilación del sur: <https://ciiifen.org/el-nino-oscilacion-del-sur/>

CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

DEFRA. (2025). UK Climate Change Risk Assessment and Adaptation Reporting Power: Third Round Guidance. Department for Environment, Food & Rural Affairs. <https://www.gov.uk/government/publications/climate-adaption-reporting-fourth-round-energy>

European Central Bank – ECB (2024) Working paper series. https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb_wp3005~35f938a452.en.pdf

EUEI PDF - GIZ. (2017). Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries. https://www.global-energy-transformation.eu/wp-content/uploads/2022/10/Energy-and-Climate-Adaptation_EUEI_2017.pdf

Electricity North West. (2024). Adaptation Report. <https://www.enwl.co.uk/about-us/climate-change/>

Energy UK. (2025). Resilient Energy Systems: Industry Priorities for a Changing Climate.

ENEL X. (2024). ENEL X. Obtenido de ¿Qué es la resiliencia energética?: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-energy-resilience>

EPA. (Marzo de 2025). United States Environmental Protection Agency. Obtenido de Climate Change impacts on energy: <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-energy>

Sección ganadores “call for papers”

EPA – United States Environmental Protection Agency (2024) Climate change adaptation resource center (ARC-X)
<https://www.epa.gov/arc-x/adaptation-actions-water-utilities>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER (2019) Caracterización general del escenario de cambio climático para Bogotá. <https://www.idiger.gov.co/rcc>

GIZ SICA. (2021). El camino hacia una infraestructura energética resiliente en Centroamérica - Caso de estudio Honduras. https://www.sica.int/documentos/el-camino-hacia-una-infraestructura-energetica-resiliente-en-centroamerica_1_130219.html

IEA. (2025). Climate resilience. <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/climate-resilience>

IEA. (2023). Power Systems in Transition. International Energy Agency.

IEA. (21 de noviembre de 2023). International Energy Agency. Obtenido de Data tool gives fine-grained view of climate vulnerabilities in the energy system and beyond: <https://www.iea.org/commentaries/data-tool-gives-fine-grained-view-of-climate-vulnerabilities-in-the-energy-system-and-beyond>

IPCC. (2022). Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_TechnicalSummary.pdf

IRENA. (2024). Climate Risk and Resilience in the Power Sector: A Case Study of Panama. <https://www.irena.org/publications/2024/Apr/Climate-Risk-and-Resilience-in-the-Power-Sector-Panama>

28

IsDB. (2022). Energy Sector Climate Change Adaptation Guidance Note. <https://www.isdb.org/sites/default/files/media/documents/2022-02/IsDB-Energy-Note.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025). Conceptos básicos de cambio climático: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MinAmbiente(2025). Inventario nacional de emisiones y absorciones atmosféricas de Colombia: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/05/Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosf%C3%A9ricas_de_Colombia.pdf

Ministerio de Minas y Energía - MME. (2023). Diagnóstico base para la Transición Energética Justa. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, Gobierno de Colombia.

NASA. (2024). NASA. Obtenido de ¿Cómo sabemos que el cambio climático es real?: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/>

National Grid Electricity Distribution. (2024). Climate Adaptation Report. <https://www.nationalgrid.co.uk/climate-change-adaptation>

OECD. (2024). Climate Resilient Infrastructure: Recommendations for Power Systems. Organisation for Economic Co-operation and Development.

ONU. (2019). ONU. Obtenido de For every dollar invested in climate-resilient infrastructure six dollars are saved, secretary-general says in message for disaster risk reduction day: <https://press.un.org/en/2019/sgsm19807.doc.htm>

Sarma, G., & Zabaniotou, A. (2021). Understanding Vulnerabilities of Renewable Energy Systems For Building Their Resilience to Climate Change Hazards: Key Concepts and assessment approaches. Renew. Energy Environ. Sustain. 6, 35. doi:<https://doi.org/10.1051/rees/2021035>

Scottish and Southern Electricity Networks (SSEN). (2024). Adaptation Report 2024. <https://www.ssen.co.uk/sustainability/climate-adaptation/>

SP Energy Networks. (2024). Third Climate Change Adaptation Report. https://www.spenergynetworks.co.uk/pages/climate_change_adaptation_report.aspx

UNDP. (29 de Febrero de 2024). UNDP. Obtenido de What is climate change mitigation and why is it urgent?: <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-climate-change-mitigation-and-why-it-urgent>

UNDP. (30 de Enero de 2024). UNDPC. Obtenido de What is climate change adaptation and why is it crucial?: <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-climate-change-adaptation-and-why-it-crucial>

UK Government. (2023). National Adaptation Programme and the Third Strategy for Climate Adaptation. <https://www.gov.uk/government/publications/national-adaptation-programme-2023>

UK Power Networks. (2024). Climate Resilience Strategy. <https://www.ukpowernetworks.co.uk/internet/en/about-us/climate-change/>

UNFCCC. (2023). Energy Infrastructure and Climate Resilience: Policy Brief. United Nations Framework Convention on Climate Change.

UNFCCC. (2024) 2025 Long Term Climate Strategy. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Turkiye_Long_Term_Climate_Strategy.pdf

UNIDO. (2024). Standards and Technical Guidelines for Climate-Resilient Energy Infrastructure. United Nations Industrial Development Organization.

Wales & West Utilities. (2024). Adaptation Report. <https://www.wwutilities.co.uk/about-us/climate-change/>

WEC. (2014). World Energy Council. University of Cambridge. Obtenido de WEC: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>

WEF. (2025). Future-Proofing Energy: Climate Resilience in Global Infrastructure. World Economic Forum. https://reports.weforum.org/docs/WEF_Climate_Adaptation_Unlocking_Value_Chains_with_the_Power_of_Technology_2025.pdf

World Bank (2021) Energy. Climate and disaster risk screening reference guide.

World Bank. (2023). Enhancing Power Sector Resilience to Climate Change: An Overview of Emerging Practices.

World Bank and ESMAP (2011) Climate Impacts on Energy Systems, Key issues for energy sector adaptation.

WWF. (Diciembre de 2022). WWF. Obtenido de El gran reto de alcanzar la carbono-neutralidad en el 2050 y lograr una transición energética justa en Colombia: <https://www.wwf.org.co/?380775/Neutralidad-de-carbono-y-transicion-energetica-en-Colombia-para-2050>