

Impactos del cambio climático sobre el sistema energético argentino

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Impactos del cambio climático sobre el sistema energético argentino

AUTORES:

Daniela Keesler

Gabriel Blanco

COLABORADORES:

Eugenia Borsa

Tomás Alvés de Melo

Las opiniones expresadas en este informe son de exclusiva responsabilidad de quienes escriben y no necesariamente coinciden con las de FARN.

FARN adopta la perspectiva de género en todos los aspectos de su trabajo. En ese sentido, en todas sus publicaciones se respetan la utilización del lenguaje inclusivo y las diversas formas de expresión que cada persona ha elegido para su colaboración.

Publicado en agosto de 2025, Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN).

Para citar este trabajo: Blanco, G. y Keesler, D. (2025). *Impactos del cambio climático sobre el sistema energético argentino*. Buenos Aires, Fundación Ambiente y Recursos Naturales.

Contenido

4	Introducción
4	Objetivos
5	Efectos del cambio climático sobre el sistema energético
8	Impactos observados y proyectados en la Argentina
13	Evaluación y cuantificación de los efectos del cambio climático sobre el sistema energético
13	Impacto del aumento de la temperatura sobre la generación solar fotovoltaica
15	Impacto del cambio en el índice de claridad sobre la generación solar fotovoltaica
17	Impacto del aumento de la temperatura ambiente sobre la generación en centrales térmicas
18	Impacto del cambio de caudales en los principales ríos de la Argentina en la generación hidroeléctrica
21	Impacto del aumento en olas de calor y temperaturas máximas en la demanda de energía
23	Impacto del aumento de la temperatura del aire sobre la generación eólica
24	Impacto de la alteración del régimen de vientos
27	Efecto de variables climáticas sobre el rendimiento de cultivos energéticos: soja y maíz
27	Medidas para mejorar la resiliencia del sistema energético argentino
28	Medidas identificadas en documentos oficiales
34	Recomendaciones para construir resiliencia energética con enfoque territorial
40	Comentarios finales

Introducción

Los impactos crecientes del cambio climático, tanto en su magnitud como en la frecuencia con la que ocurren, están alcanzando a los sistemas naturales y a los sistemas humanos en todas las regiones del planeta. Desde el derretimiento de la cobertura de hielo en Groenlandia y la Antártida, el retroceso de glaciares en los Andes y en el Himalaya, y los huracanes y tifones en el Caribe y en el sudeste asiático; hasta olas de calor, sequías e inundaciones en distintos puntos del planeta combinadas con el aumento del nivel del mar que avanza sobre sistemas y poblaciones costeras e isleñas. Estos impactos generan, en primer lugar, pérdidas de vidas humanas, pero también pérdidas de biodiversidad y daños en sistemas productivos, tanto agrícolas y ganaderos como industriales. Dentro de estos últimos, empiezan a verse afectados por los impactos del cambio climático los sistemas energéticos. Esto incluye toda la cadena de producción de energía, desde la obtención del recurso, la producción de energía propiamente dicha, hasta su transporte, almacenamiento y distribución. Pero también, se ve afectado su uso final en los diferentes sectores económico-productivos de la sociedad: residencial, comercial, público, industrial, agropecuario, forestal, y transporte. La seguridad de la provisión de energía en cada uno de ellos está siendo afectada.

Históricamente, el cambio climático y la seguridad energética rara vez se han abordado de forma conjunta. Sin embargo, ahora, los riesgos que plantean a la infraestructura energética la mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos –y otros de más largo aliento, como el aumento del nivel del mar– hacen que la relación causal entre cambio climático y la seguridad energética sea imposible de ignorar (IRENA, 2024).

Todas las regiones del mundo se enfrentan a estos desafíos, lo que muestra la creciente vulnerabilidad al cambio climático de la infraestructura energética y las cadenas de suministro globales, con el nivel de riesgo que esto representa. Sin embargo, y a pesar de la presión que se ejerce desde los ciudadanos, al menos en algunas regiones, para mantener la trayectoria de 1,5°C, las tendencias muestran claramente que la transición energética está demorada en algunos países, y abandonada en muchos otros.

Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es analizar los impactos actuales y futuros del cambio climático sobre el sistema energético de la Argentina. Se busca evidenciar cómo las alteraciones que está sufriendo el clima pueden generar un mayor nivel de estrés del sistema, comprometer la seguridad para satisfacer la demanda energética, y aumentar los costos asociados a su operación y mantenimiento.

Con este fin, se examinan los cambios inducidos por el calentamiento global en los patrones climáticos que puedan incidir directamente en alguna de las etapas del sistema energético: desde la obtención de recursos primarios, pasando por los procesos de transformación, almacenamiento, transporte y distribución, hasta el consumo final.

Entre los principales cambios en los patrones climáticos a considerar se incluyen el aumento de la temperatura ambiente, las variaciones en los regímenes de precipitación, la intensificación y frecuencia de olas de calor, modificaciones en la nubosidad, cambios en los regímenes de vientos e hidrológicos, sequías y otros eventos climáticos extremos.

Los efectos que se analizarán abarcan, entre otros, la disminución en la eficiencia de los sistemas de generación y transformación de energía, daños en instalaciones e infraestructuras críticas, incremento de las pérdidas en el transporte, aumento de la demanda energética de los sectores de consumo final y una mayor variabilidad en la disponibilidad de los recursos energéticos primarios.

Efectos del cambio climático sobre el sistema energético

Los impactos del cambio climático han comenzado a afectar la disponibilidad de los recursos, actuales y futuros, para la producción de distintas formas de energía como, por ejemplo, el caudal de los ríos utilizados para la producción de energía hidroeléctrica, o el rendimiento de cultivos destinados a fines energéticos como la soja o el maíz para la producción de biocombustibles, o la posible alteración del régimen de vientos o de la radiación solar que llega a la superficie y que afectarán la producción de energía eólica y solar, respectivamente.

Por otra parte, algunos impactos del cambio climático llevan a aumentar el consumo de energía como, por ejemplo, las olas de calor que incrementan el uso de acondicionadores de aire en las viviendas y lugares de trabajo, o las sequías que hacen necesario el riego para sostener la producción de alimentos.

En otro orden, estos impactos están comenzando a afectar la infraestructura energética y la operación de los equipos y tecnologías utilizadas en la producción de energía a lo largo de todo el sistema. El aumento de temperatura y la reducción en el caudal de los ríos cuyas aguas se utilizan en los sistemas de enfriamiento de centrales termoeléctricas, tanto las que utilizan combustibles fósiles como las centrales nucleares que utilizan uranio como combustible, disminuyen de forma considerable la eficiencia de estas centrales. El aumento de la temperatura del aire también impacta negativamente en la eficiencia de las centrales eólicas, solares fotovoltaicas y térmicas, en particular, en los motores a combustión utilizados en el transporte, tanto carretero como ferroviario y aéreo.

Los impactos causados por los eventos climáticos extremos, como tormentas con vientos huracanados y fuertes precipitaciones también han comenzado a dañar físicamente la infraestructura energética, afectando, por ejemplo, tendidos de transporte y distribución de energía eléctrica, así como a turbinas eólicas y paneles solares fotovoltaicos.

Día a día aparecen situaciones en distintos países que van confirmando los impactos previstos. Algunas de estas situaciones se describen a continuación:

- **Estados Unidos – Verano 2024:** En junio de 2024, Estados Unidos experimentó un aumento significativo en la demanda de electricidad, con un 37% del incremento atribuido a las olas de calor, especialmente en estados como Texas y Michigan, donde los apagones relacionados con el clima cálido han aumentado un 60% en la última década, 2014-2023 frente a 2000-2009 (Rangelova *et al.*, 2025; Climate Central, 2024).
- **China – Agosto y septiembre 2024:** Las olas de calor de agosto y septiembre de 2024 en China, el mayor consumidor de electricidad, duplicaron el aumento interanual de la demanda para refrigeración. Esto forzó un crecimiento del 4.4% y 10% en la generación de energía a carbón respectivamente, para satisfacer la demanda (CGTN, 2024).

- **Oeste de EE. UU. – 2021:** La sequía extrema de 2021 en el oeste de Estados Unidos, particularmente en California y Oregón, resultó en la peor generación de energía hidroeléctrica desde 2001, con una producción aproximadamente un 16% por debajo del promedio del siglo XXI. En California, la generación fue casi un 48% inferior (Turner *et al.*, 2022).
- **Estados Unidos – Diciembre 2022:** Tormenta Invernal “Elliott”: Una severa tormenta invernal, exacerbada por el cambio climático, afectó a gran parte de Estados Unidos y Canadá. En EE.UU., causó cortes de energía a más de 1.7 millones de hogares y negocios debido a temperaturas extremadamente bajas, fuertes vientos y nevadas que congelaron equipos y derribaron infraestructura. Las restricciones de gas natural por el frío también limitaron la generación térmica, llevando a interrupciones forzadas del servicio en varias regiones (FERC & NERC, 2023).
- **Filipinas – Diciembre 2021:** El aumento en la intensidad de los tifones, influenciado por el calentamiento de los océanos, impacta gravemente las redes eléctricas. El Tifón Rai (Odette) en diciembre de 2021 devastó partes de Filipinas, dañando severamente la infraestructura de transmisión y distribución, dejando a millones de personas sin electricidad durante semanas o incluso meses. La reconstrucción de redes enteras es un desafío recurrente (Asian Development Bank, 2022).
- **California, EE. UU. – Incendios Forestales (entre 2018 y 2021):** Los incendios forestales, más frecuentes e intensos debido a la sequía y el aumento de temperaturas, han provocado cortes masivos de electricidad y apagones preventivos. Pacific Gas & Electric (PG&E) en California ha tenido que realizar “cortes de energía por seguridad pública” (PSPS) de forma recurrente (por ejemplo, en octubre de 2019, dejando a casi un millón de clientes sin luz) para evitar que sus propias líneas eléctricas sean la causa de nuevos incendios en condiciones de alto riesgo (Lyster *et al.*, 2022).
- **Reino Unido – Aumento del Nivel del Mar y Marejadas Ciclónicas:** Las infraestructuras energéticas costeras, como subestaciones y algunas centrales eléctricas, están cada vez más expuestas a la inundación por marejadas ciclónicas y el aumento gradual del nivel del mar. Aunque los ejemplos de fallas catastróficas masivas son menos frecuentes que los eventos súbitos, hay casos de inundaciones en subestaciones eléctricas en zonas bajas durante tormentas más intensas de lo normal, requiriendo inversiones significativas en defensas y reubicación (C40, s.f.).
- **Argentina – Enero 2022:** Durante la ola de calor del 10 al 26 de enero de 2022, Buenos Aires alcanzó 41.5°C. Esto llevó a un pico histórico de consumo eléctrico (superando los 28.000 MW) y provocó un apagón masivo que afectó a 700.000 usuarios en el norte de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires. El gobierno debió pedir a la industria reducir el consumo y decretar teletrabajo para evitar colapsos. La falta de viento también afectó la generación eólica, aumentando la dependencia de centrales térmicas (Bloomberg, 2022; Bellato, 2025).

TABLA 1. Resumen de los impactos del cambio climático sobre el sistema energético

Consecuencia del cambio climático	Riesgo	Impacto sobre el sistema energético
	Aumento de la temperatura ambiente <ul style="list-style-type: none"> Disminución de la densidad del aire Aumento de temperatura en cursos de agua 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la generación solar fotovoltaica Disminución de la generación eólica Disminución de la generación en centrales térmicas de ciclo de gas Disminución de la generación en centrales térmicas de ciclo de vapor Incremento de la demanda de energía Perjudica el funcionamiento de transformadores y subestaciones
	Sequías / Desertificación <ul style="list-style-type: none"> Baja de cotas y caudales de cursos de agua Menor disponibilidad de humedad en el suelo y aire Mayor cantidad de polvo en el ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la generación en centrales térmicas de ciclo de vapor Disminución de rendimientos de cultivos Disminución de la generación solar fotovoltaica
	Mayor frecuencia de tormentas severas <ul style="list-style-type: none"> Cambios en el régimen de vientos 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la generación eólica Daños en líneas de transporte de alta tensión
	Cambio en régimen de precipitaciones e inundaciones <ul style="list-style-type: none"> Cambio en caudales de ríos Mayor frecuencia e intensidad de inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la generación hidroeléctrica Disminución de la generación en centrales térmicas de ciclo de vapor Pérdidas de cultivos Daños en líneas de transporte de alta tensión

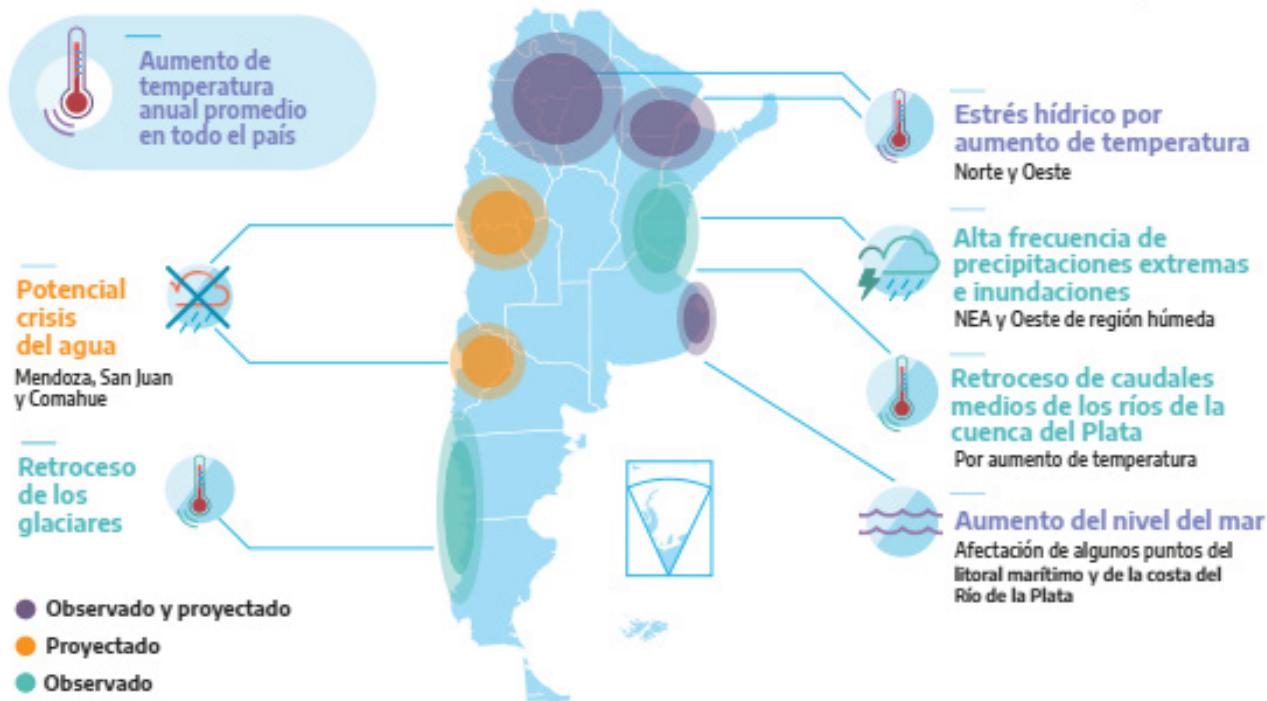
Fuente: Elaboración propia.

Impactos observados y proyectados en la Argentina

El cambio climático ya muestra impactos devastadores en Argentina, y las proyecciones para las próximas décadas advierten sobre una intensificación de estos fenómenos, con consecuencias graves y diferenciadas según región. Los mapas y datos disponibles evidencian un panorama complejo, donde los riesgos climáticos interactúan con la infraestructura energética, la distribución de la población y la localización de recursos críticos como gas y petróleo.

En los últimos años, la Argentina ha elaborado un diagnóstico en base a los impactos observados del cambio climático en el país y proyecciones de esos impactos (Figura 3-1). Dichas proyecciones se presentaron en distintas publicaciones oficiales, como la Tercera Comunicación Nacional (TCN) sobre Cambio Climático de la República Argentina, el Quinto Informe Bienal de Actualización (BUR, por sus siglas en inglés) de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de la República Argentina, la Segunda Comunicación Nacional de Adaptación (NAC, por sus siglas en inglés) a la CMNUCC, el Informe del Estado del Ambiente (IEA) 2023, el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático (PNAyMCC) y el Primer Informe Bienal de Transparencia (BTR, por sus siglas en inglés) de la República Argentina a la CMNUCC.

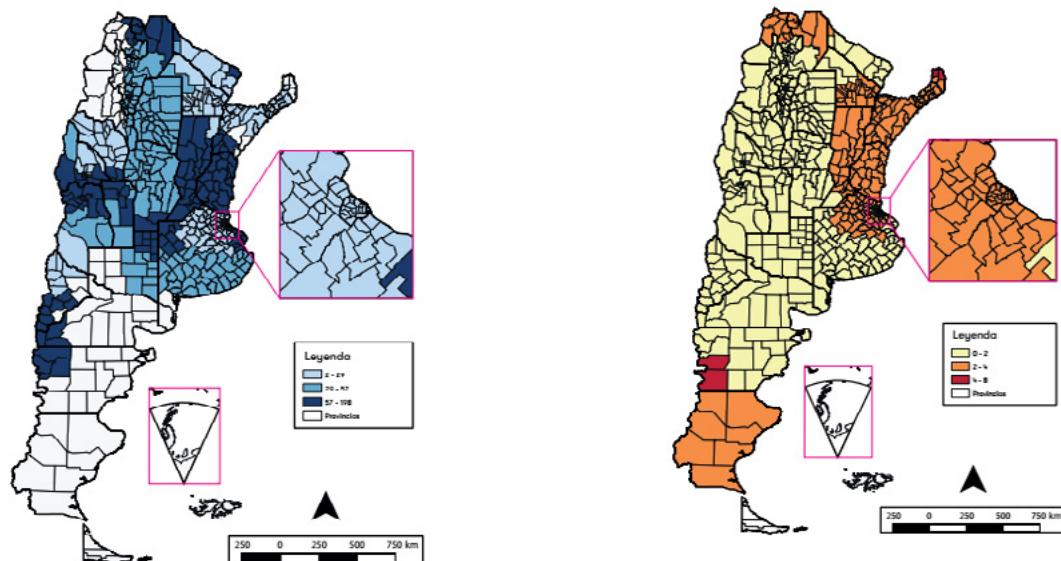
FIGURA 3.1 Impactos observados y proyectados del cambio climático en la Argentina



Fuente: 5to Informe Bienal de Actualización de la República Argentina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Se han publicado también los cambios observados en las precipitaciones y en las olas de calor en las distintas regiones del país, como muestran los mapas de la Figura 3-2.

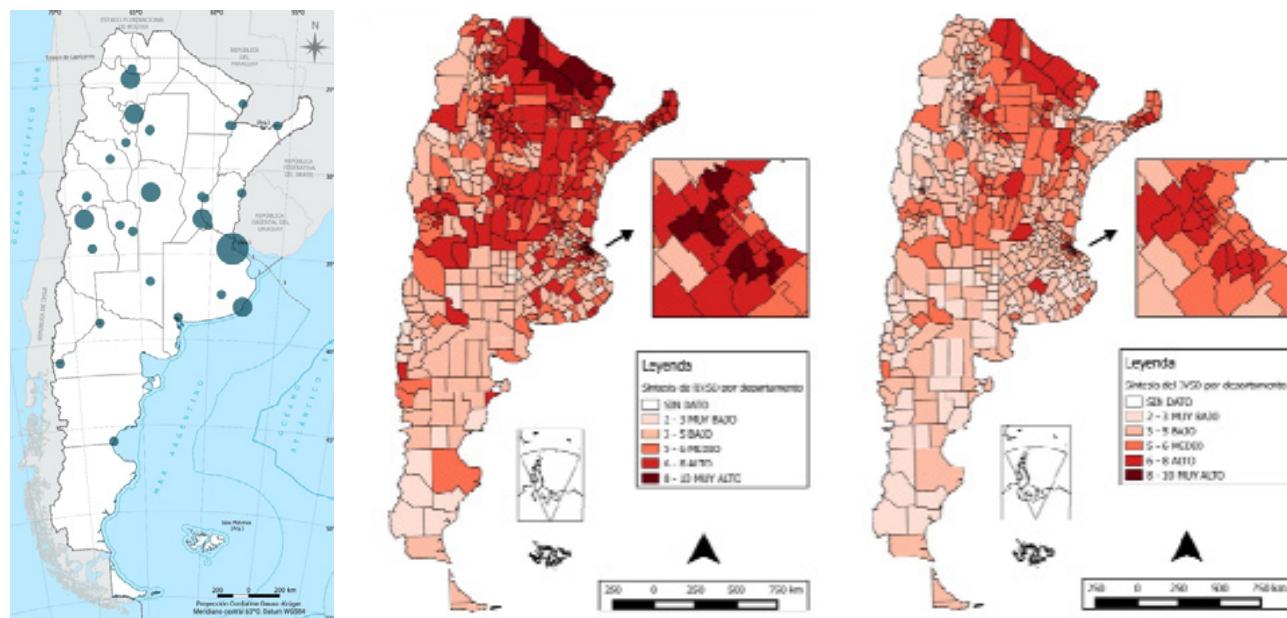
FIGURA 3.2 Cambios observados en las precipitaciones (panel izquierdo) y en las olas de calor según índice Warm Spell Duration Index (WSDI) (panel derecho), entre 1960 y 2010 en las distintas regiones del país



Fuente: Subsecretaría de Ambiente (SSAmb), 2024.

Por otra parte, se encuentra disponible también una síntesis del índice de vulnerabilidad social frente a riesgos de desastres, que muestra la Figura 3-3.

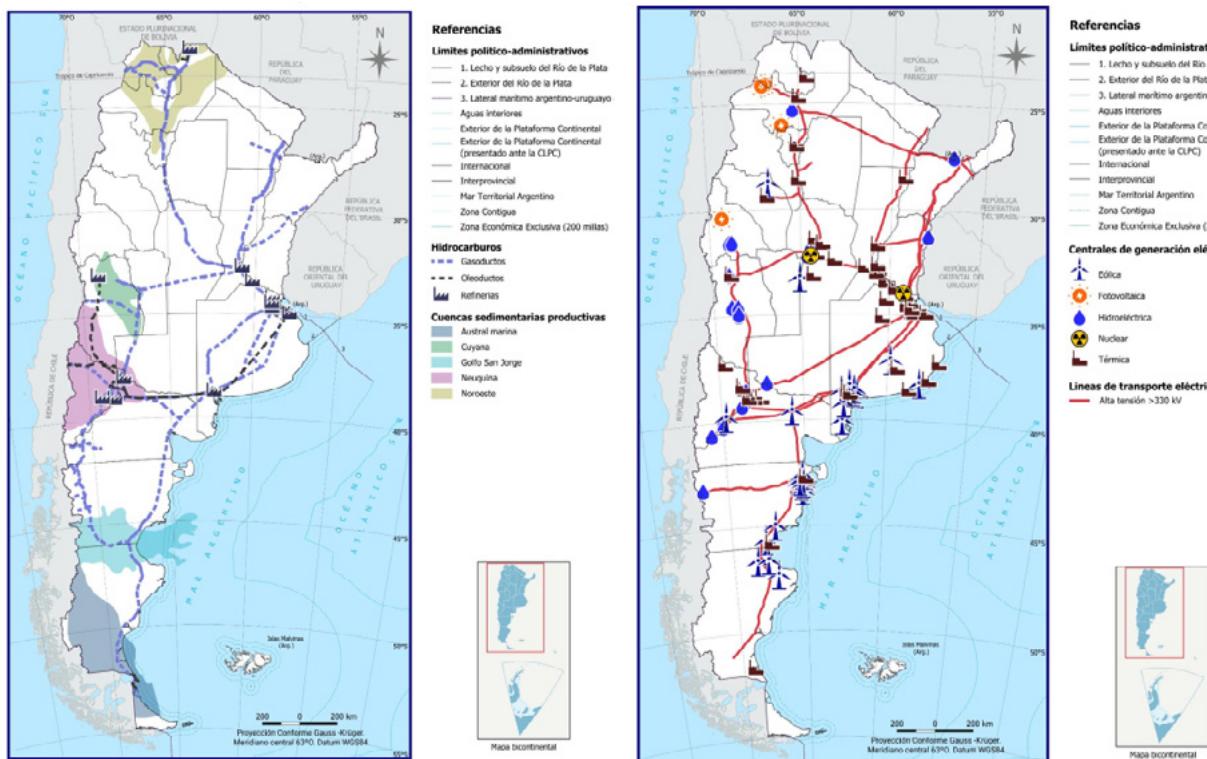
FIGURA 3.3 Distribución poblacional e Índice de vulnerabilidad social frente a riesgos de desastres de 2001 y 2010



Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015.

En relación al sistema energético y la distribución geográfica de sus elementos principales, la Figura 3-4 muestra, en el panel izquierdo, la ubicación de las cuencas sedimentarias productivas de gas y petróleo, refinerías y ductos para el transporte, mientras que en el panel derecho se encuentra la ubicación de las centrales de generación eléctrica y las líneas de transporte principales.

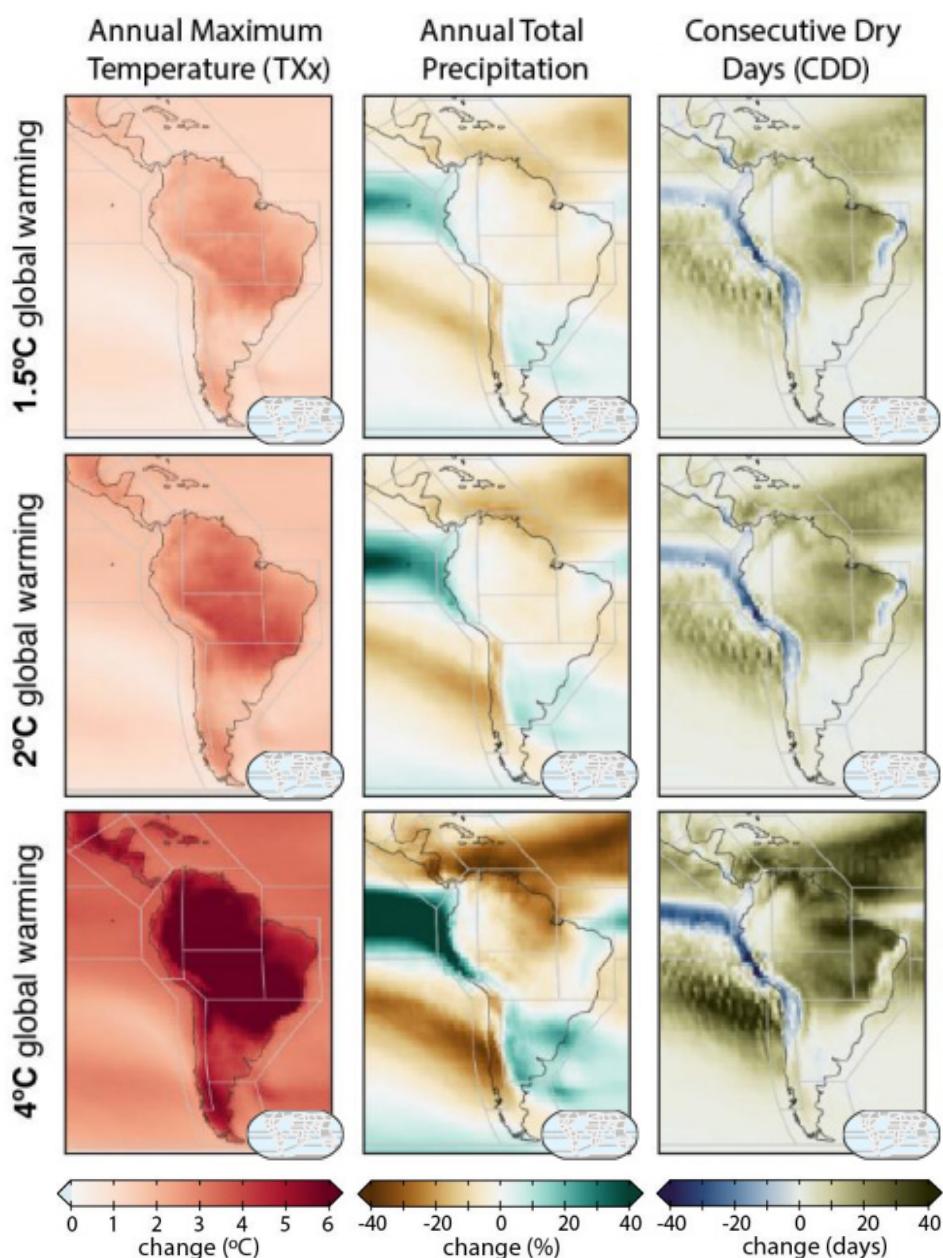
FIGURA 3.4 Distribución geográfica de los elementos principales del sistema energético argentino. Panel izquierdo: cuencas sedimentarias productivas, centros de refinación y ductos de transporte de hidrocarburos. **Panel derecho:** red eléctrica de alta tensión y centrales de generación eléctrica



Fuente: SSAMb, 2024.

Algunos resultados de los modelos climáticos globales utilizados por el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC, por su sigla en inglés) para elaborar proyecciones de las principales variables climáticas en diferentes escenarios de aumento de temperatura media global, se muestran en la Figura 3-5.

FIGURA 3.5 Proyecciones de temperaturas máximas anuales, precipitación total anual y cantidad de días secos consecutivos por año, para Sudamérica y para 3 escenarios con diferentes temperaturas medias globales a 2100: 1.5°C, 2°C y 4°C



Fuente: IPCC AR6 WGI (IPCC, 2021).

Las proyecciones muestran un aumento de las temperaturas máximas en todos los escenarios, que van desde rangos entre 1°C y 3°C en el escenario 1.5°C, hasta rangos de entre 3°C y 5°C en el escenario de 4°C de aumento de temperatura media global, donde las regiones del NOA, NEA y Patagonia aparecen como las más afectadas por estos incrementos.

En cuanto a las precipitaciones anuales, en todos los escenarios se destaca la reducción de precipitaciones en el Comahue y en la región cordillerana en general, el incremento en las regiones mesopotámica y pampeana, y la reducción de precipitaciones en las cuencas altas de los ríos Paraná y Uruguay que podrían explicar las proyecciones decrecientes de los caudales de estos ríos.

Por otra parte, en la citada Tercera Comunicación Nacional se presentan estudios de futuros impactos del cambio climático, luego recogidos y actualizados en el último Informe Bienal de Actualización (IBA), donde se describen con algo más de detalle los impactos proyectados sobre cada región del país.

En el Noroeste Argentino (NOA), el aumento proyectado de temperaturas extremas y el estrés hídrico serán particularmente severos. El retroceso de glaciares andinos y la disminución de caudales amenazan la disponibilidad de agua para consumo humano, agricultura y, probablemente, a la generación hidroeléctrica de la región. A su vez, las centrales térmicas locales enfrentarán reducciones de eficiencia por el aire más caliente y limitaciones en sistemas de refrigeración que dependen de cursos de agua ya escasos. Estas vulnerabilidades se agravan en un contexto de desigualdad territorial y poblaciones rurales dispersas con bajo acceso a energía segura.

En Cuyo, la potencial crisis del agua es aún más crítica. Mendoza, San Juan y el Comahue enfrentan un futuro con caudales de ríos más reducidos y variabilidad hidrológica extrema, afectando la capacidad de sus centrales hidroeléctricas y el abastecimiento para consumo y riego. La alta irradiación solar, un activo para la energía fotovoltaica, se ve parcialmente compensada por pérdidas de eficiencia térmica ante temperaturas crecientes. La infraestructura eléctrica en estas provincias, dependiente de líneas extensas y expuesta a incendios forestales, requiere adaptación urgente para soportar eventos extremos.

El Noreste Argentino (NEA) enfrenta un escenario diferente pero igualmente desafiante. Los mapas muestran una tendencia clara hacia aumento de precipitaciones extremas e inundaciones, lo que pone en riesgo redes eléctricas extensas y ya frágiles, especialmente en zonas rurales con pobreza energética. Las proyecciones de olas de calor más frecuentes aumentan la demanda de refrigeración, elevando el riesgo de cortes por sobrecarga. Además, los centros urbanos del NEA enfrentan los problemas de una vulnerabilidad social elevada que amplifica los impactos.

La región Centro y Pampeana, el corazón productivo y poblacional del país, muestra un fuerte aumento en días con olas de calor, con impactos directos en la salud pública y la demanda energética. Las ciudades más grandes, como Buenos Aires, Rosario o Córdoba, ya experimentan picos de consumo que tensionan redes eléctricas envejecidas. Los mapas de precipitación extrema advierten sobre eventos más frecuentes que pueden dañar infraestructura eléctrica, inundar subestaciones y afectar la logística del transporte energético. En paralelo, las centrales térmicas cercanas al Río Paraná enfrentan la amenaza de variabilidad en caudales y aumento de la temperatura del agua, reduciendo su capacidad de enfriamiento.

La Patagonia presenta una combinación única de riesgos. Aunque con menor densidad poblacional, la región enfrenta la disminución de nieve y caudales que afectará la hidroelectricidad, un componente clave de su matriz productiva. También es vulnerable a precipitaciones extremas, nevadas intensas, incendios forestales y dificultades logísticas en su vasta extensión. Las redes eléctricas de alta tensión, que recorren distancias enormes para conectar generación eólica y térmica con centros de consumo, están expuestas a eventos extremos que pueden interrumpir el suministro de forma prolongada.

Los mapas de transporte eléctrico y de localización de centrales muestran un sistema altamente centralizado, con fuerte predominio de generación termoeléctrica y una red de alta tensión que depende de largas distancias para conectar los centros de generación y consumo. En paralelo, la infraestructura asociada a combustibles fósiles –refinerías, gasoductos y oleoductos– se concentra principalmente en la provincia de Buenos Aires, el Comahue y parte de Cuyo, regiones que enfrentan crecientes riesgos climáticos, como los ya mencionados estrés hídrico y eventos climáticos extremos. Esta concentración

geográfica incrementa la vulnerabilidad del sistema y plantea riesgos de activos varados a medida que avancen las políticas de transición y las restricciones físicas derivadas del cambio climático.

En conclusión, se proyectan impactos regionalizados pero interconectados sobre el sistema energético argentino: la pérdida de eficiencia en generación termoeléctrica por calor extremo, la crisis hídrica que compromete la hidroeléctrica, la sobrecarga de redes urbanas y los riesgos de cortes prolongados por eventos extremos. La gravedad de estos impactos obliga a una planificación territorial diferenciada, inversiones en resiliencia y una transición energética. Esta última debe apuntar tanto a la diversificación de recursos y de tecnologías, como a una descentralización y democratización de la gestión que permita enfrentar estos desafíos protegiendo la seguridad energética y la equidad social en todo el país.

Evaluación y cuantificación de los efectos del cambio climático sobre el sistema energético

Con el fin de poner en evidencia los potenciales impactos del cambio climático sobre el sistema energético se analizan en esta sección, a modo de ejemplo, algunos casos puntuales. Se procura cuantificar estos impactos como una aproximación inicial al problema y sus posibles consecuencias.

El análisis se basa en los cambios observados y pronosticados en los patrones del clima argentino que la comunidad científica atribuye al calentamiento global provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero. Se busca estimar cómo podrían afectar estos cambios la disponibilidad de distintos recursos primarios, el desempeño de determinadas tecnologías para la producción de energía y el comportamiento de los sectores de consumo que integran el sistema energético.

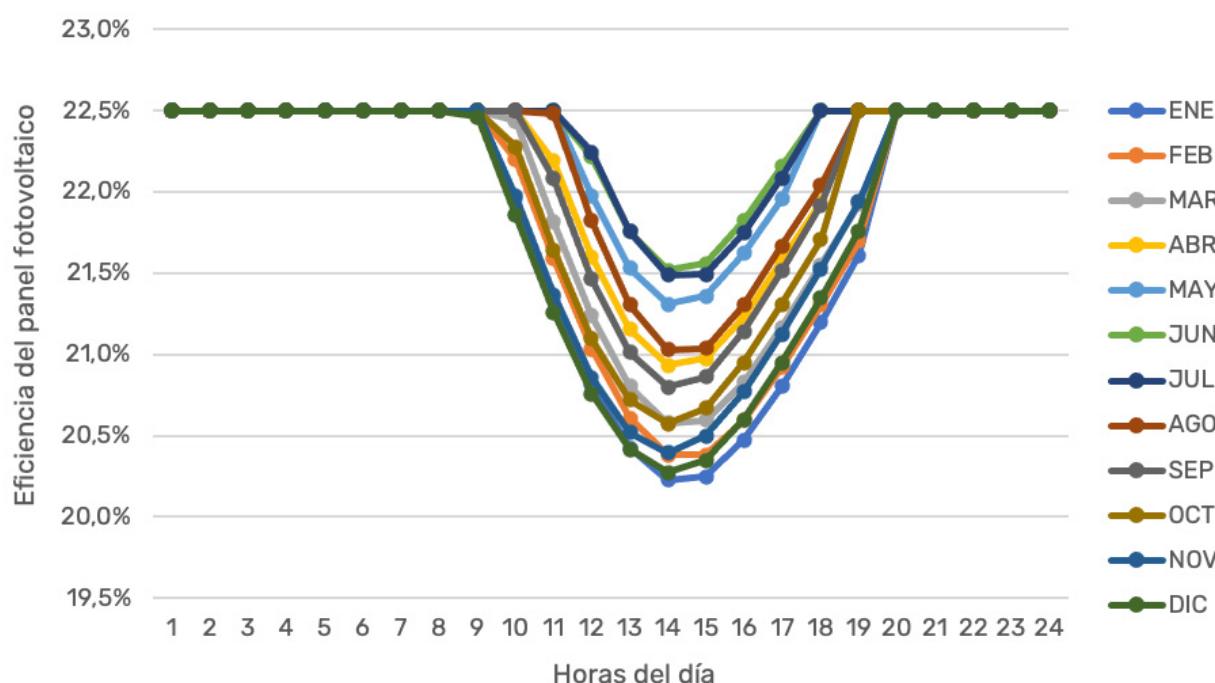
A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Impacto del aumento de la temperatura sobre la generación solar fotovoltaica

El incremento de la temperatura ambiente puede tener un efecto negativo en la generación solar fotovoltaica, ya que un incremento en la temperatura de las celdas reduce su eficiencia en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica (Aly *et al.*, 2019).

La Figura 4-1 muestra el efecto del aumento de la temperatura ambiente sobre la eficiencia de un panel fotovoltaico a lo largo del día, para cada mes del año, en un sitio determinado. En este ejemplo, se asumió una eficiencia nominal del panel, según datos informados por el fabricante, del 22,5%.

FIGURA 4.6 Eficiencia de un panel fotovoltaico en función de la temperatura ambiente a lo largo del día, para cada mes del año, en un sitio determinado



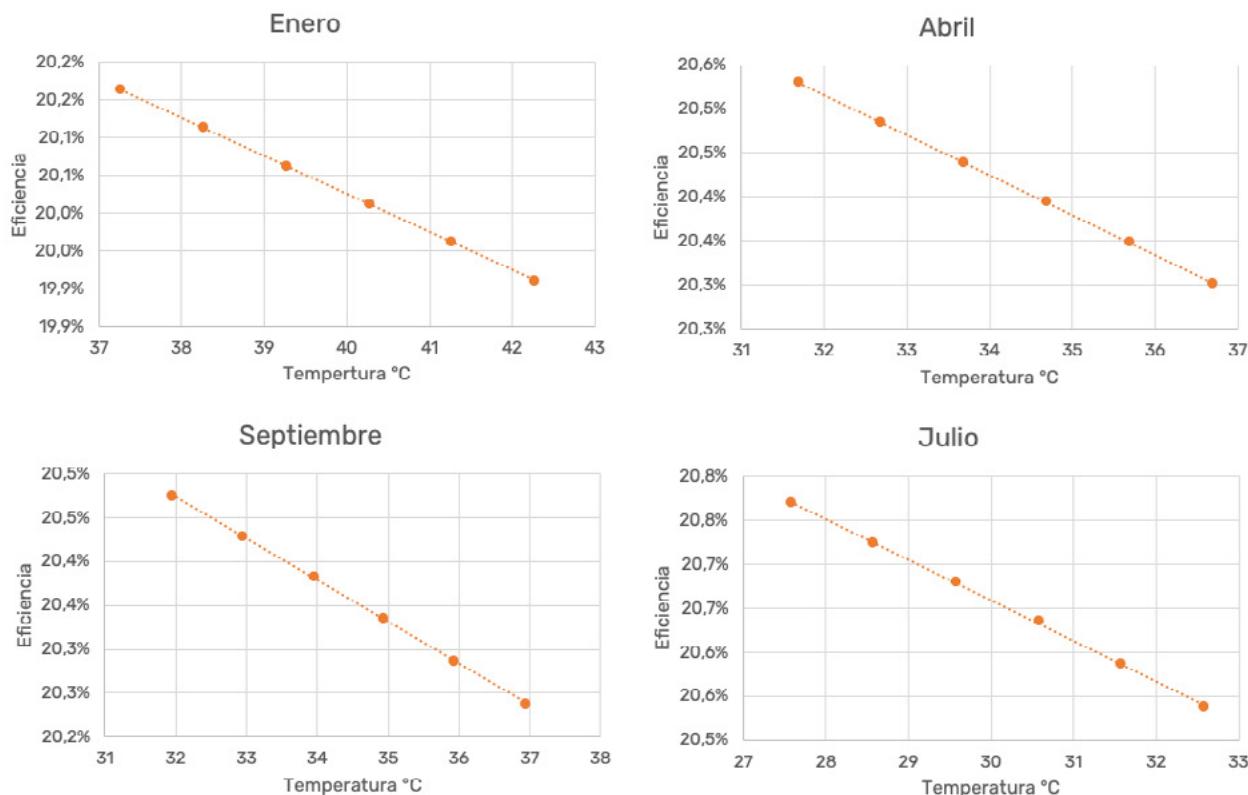
Fuente: elaboración propia en base a paneles comerciales (Trina Solar, 2025) modelos matemáticos (Battioni *et al.*, 2016) y bases de datos de temperatura (NASA, 2025).

La curva típica de temperatura diaria evidencia un aumento progresivo desde las primeras horas del día hasta alcanzar un máximo por la tarde, seguido de un descenso hasta un valor mínimo durante la noche. Este comportamiento se debe a la radiación solar, que calienta la superficie terrestre durante el día, y a la pérdida de calor durante la noche. La amplitud térmica diaria y las diferencias estacionales dependen de factores geográficos como la latitud, altitud y proximidad al mar, entre otros (Dubey, 2013). Sin embargo, las curvas de temperatura están siendo alteradas actualmente por los efectos del cambio climático.

Un incremento en la temperatura ambiente, por tanto, podría tener un impacto negativo directo en la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Para estimar la posible disminución en la generación de energía, se evaluó el impacto que tendría un aumento de las temperaturas máximas en las regiones de la Argentina con mayor potencial de radiación solar y donde se encuentran instalados los principales parques fotovoltaicos: Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, Santa Fe y Buenos Aires. Para ello se consideraron valores reales de radiación y climatológicos obtenidos de la base de datos de la NASA (2025).

La Figura 4-2 muestra la disminución en la eficiencia promedio mensual de una instalación fotovoltaica en función del incremento de las temperaturas máximas diarias en distintos meses del año en Ullum, provincia de San Juan. Este aumento de la temperatura ambiente genera una elevación en la temperatura de las celdas fotovoltaicas, provocando una disminución en la eficiencia del sistema. En particular, se observa que la eficiencia cae aproximadamente un 0,05% por cada grado Celsius de aumento en la temperatura máxima diaria.

FIGURA 4.7 Efecto del aumento de la temperatura máxima diaria de las celdas en la eficiencia de una instalación fotovoltaica evaluada en la provincia de San Juan



Fuente: Elaboración propia en base a datos de paneles comerciales (Trina Solar, 2025), modelos matemáticos (Battioni *et al.*, 2016) y bases de datos de temperatura (NASA, 2025).

Del mismo modo, se realizó el análisis para las demás regiones mencionadas, y en todos los casos los resultados mostraron una disminución promedio en la eficiencia de entre 0,04% y 0,05% por cada grado Celsius de incremento en la temperatura ambiente máxima. Esta reducción en la eficiencia se traduce en una caída promedio del 0,7% en la generación de energía eléctrica por cada grado de aumento en la temperatura de las celdas fotovoltaicas.

Según las proyecciones del IPCC y de la Tercera Comunicación Nacional, es de esperar aumentos de temperaturas máximas en las regiones con más centrales solares FV instaladas, lo cual deberá considerarse tanto para la futura producción de energía de los proyectos en marcha como a la hora de planificar nuevos proyectos.

Impacto del cambio en el índice de claridad sobre la generación solar fotovoltaica

El índice de claridad (K_t) se define como la relación entre la irradiancia solar recibida en la superficie terrestre y la irradiancia solar incidente en la parte superior de la atmósfera. Este parámetro, cuyo valor se encuentra siempre en el rango de 0 a 1, constituye una medida adecuada para describir las diferentes condiciones atmosféricas que influyen en la transferencia de radiación a través de la atmósfera (Babatunde & Aro, 1995).

Factores como la presencia de nubes y otras partículas en suspensión en la atmósfera pueden alterar significativamente la propagación de la radiación solar, limitando su llegada a la superficie terrestre, el índice Kt se convierte en un indicador fundamental para evaluar el impacto de estos fenómenos atmosféricos.

Un valor elevado de Kt indica una mayor cantidad de radiación solar alcanzando la superficie terrestre. Por el contrario, una disminución en este índice significa una reducción en la radiación disponible en la superficie terrestre, lo que se traduce en una merma en la generación de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos. La Tabla 4.1 presenta una clasificación propuesta por Iqbal (1983) para categorizar los días como despejados, parcialmente nublados o nublados en función del valor del índice Kt.

TABLA 4.1 Clasificación de los días según el Kt

Tipo de día	Valor de Kt
Despejado	$0,65 \leq Kt \leq 0,9$
Parcialmente nublado	$0,3 \leq Kt \leq 0,65$
Nublado	$0 \leq Kt \leq 0,3$

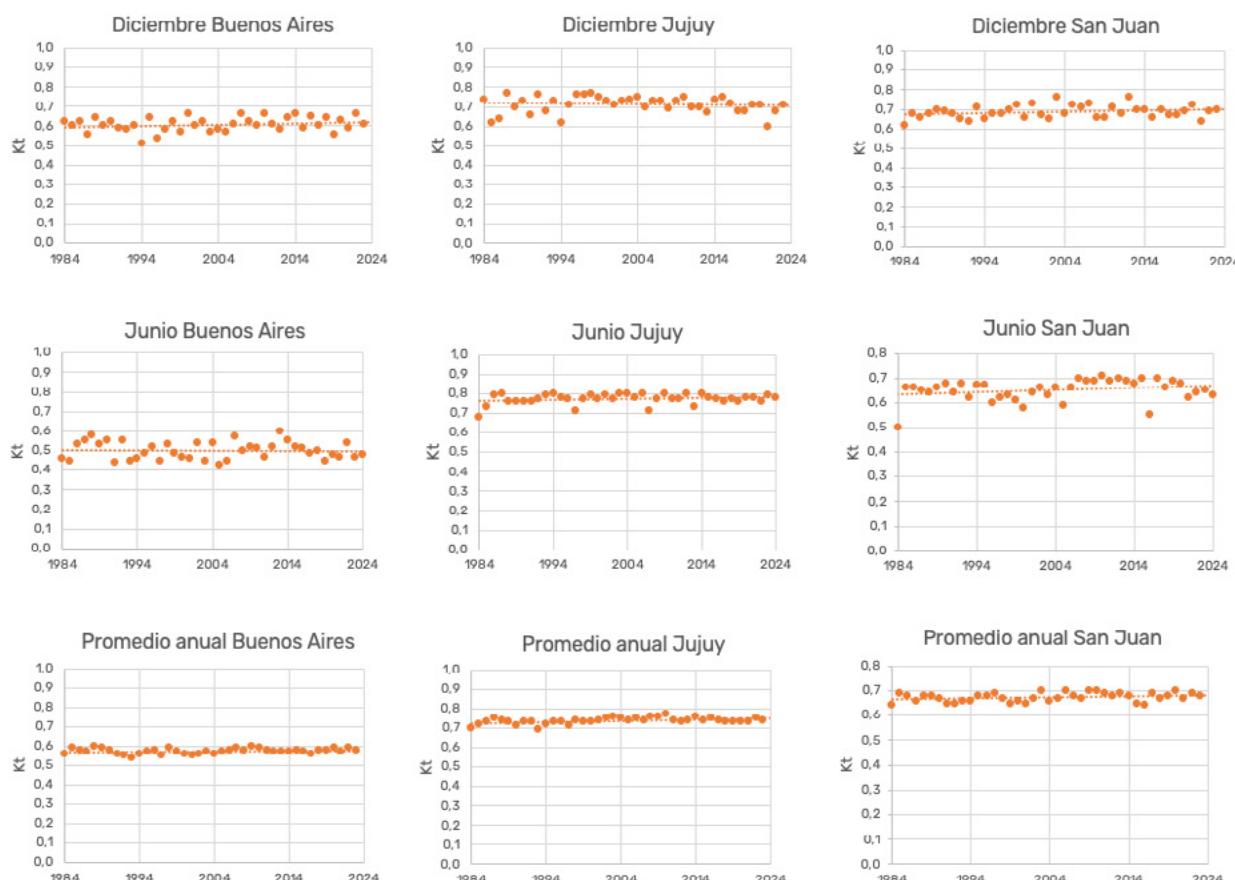
Una de las consecuencias del cambio climático y del calentamiento global es el aumento de la evaporación de aguas superficiales, lo que conlleva una mayor nubosidad atmosférica. Este fenómeno incide directamente en el valor del índice de claridad. En este apartado se analiza cómo una disminución en el Kt, asociada a un incremento en la presencia de vapor de agua en forma de nubes, puede afectar el rendimiento de la generación fotovoltaica.

A partir de valores de radiación y del índice de claridad (Kt) obtenidos de la base de datos de la NASA (2025), se evaluó el impacto de las variaciones en el Kt sobre la radiación en distintas regiones de la Argentina.

Una disminución en el valor del índice de claridad se traduce en una reducción proporcional de la radiación incidente en un plano horizontal. A su vez, esta reducción afectaría negativamente la generación de energía en sistemas fotovoltaicos, aunque la magnitud del efecto dependerá de las condiciones de cada instalación, como la orientación e inclinación de los paneles o si posee algún sistema de seguimiento de la trayectoria solar.

El análisis de las tendencias históricas del índice de claridad (Kt) en distintas regiones de la Argentina evidencia comportamientos disímiles según la zona considerada. Regiones como Cuyo, Comahue y el Noroeste presentan, en general, una tendencia creciente en el valor del índice Kt, lo que indica una disminución de la nubosidad y un aumento de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre. En contraste, regiones como Buenos Aires y el Litoral muestran una tendencia decreciente, aunque dicha tendencia no es uniforme si se considera el comportamiento estacional.

FIGURA 4.8 Tendencia histórica (1984-2024) del Índice de Claridad (Kt) para diferentes lugares de la Argentina: Mechonqué, Buenos Aires (izquierda), Caucharí, Jujuy (centro) y Ullum, San Juan (derecha)



Fuente: Elaboración propia en base a NASA (2025).

El aumento en los valores del índice Kt resulta favorable para la generación fotovoltaica, ya que implica mayor disponibilidad de radiación solar. No obstante, para obtener conclusiones más precisas, es necesario considerar este fenómeno en conjunto con la evolución de la temperatura en esas mismas regiones, ya que un incremento térmico podría afectar negativamente el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, como se describió en la sección anterior.

Impacto del aumento de la temperatura ambiente sobre la generación en centrales térmicas

En un escenario de calentamiento global sostenido, las temperaturas medias del aire y del agua en superficie experimentan un aumento progresivo que afecta de forma directa el rendimiento de las centrales termoeléctricas, tanto de ciclo combinado como de ciclo simple. Este fenómeno compromete la eficiencia operativa y la capacidad de generación de energía eléctrica, lo cual plantea desafíos técnicos, económicos y ambientales significativos.

Como es sabido, el aumento de la temperatura ambiente reduce la densidad del aire, por lo cual disminuye el flujo másico de entrada al compresor de las turbinas de gas (TG). Dado que la potencia generada

por la TG es aproximadamente proporcional al flujo másico de aire, este descenso conlleva una reducción lineal de la potencia generada. Por ejemplo, Singh y Kumar (2012) reportan que un incremento de 35°C (ej. de 5°C a 40°C) en la temperatura ambiente puede reducir la potencia neta de una turbina de gas en un 24%, y la eficiencia en un 9%. En el caso de un ciclo combinado, esta disminución de la masa de aire que ingresa al sistema se transmite al ciclo de turbina de vapor (TV) asociado, ya que se genera menos vapor a partir del calor de los gases de escape de la TG, reduciendo en consecuencia la potencia de la TV en alrededor de un 9% adicional.

Por otro lado, el aumento de la temperatura de los cursos de agua superficiales usados para la refrigeración de los ciclos de TV, también afecta negativamente la potencia generada y la eficiencia térmica, tanto cuando la TV está integrada en un ciclo combinado como cuando funciona en un ciclo simple. Por ejemplo, el estudio de Gungor *et al.* (2024) indica que un aumento de 1°C en la temperatura del agua de enfriamiento puede generar una pérdida de vacío en el condensador, reduciendo la eficiencia de la TV y provocando una caída en la potencia y en la generación total cercano a los 0,76 MWh. Esta combinación de temperaturas más elevadas del aire y del agua de enfriamiento lleva a una disminución de la generación neta de electricidad, alcanzando pérdidas de aproximadamente 4,81 MWh por cada grado de aumento ambas temperaturas.

Estas pérdidas pueden superar el 15–20% del total de energía generada en condiciones óptimas. También se observa un aumento en la tasa de consumo específico de energía por unidad generada (*heat rate*), lo cual encarece la operación de las plantas y disminuye su sostenibilidad.

Si estas pérdidas se compensaran con generación eléctrica a partir de combustibles fósiles, se producirán aumentos en las emisiones de gases de efecto invernadero, reforzando el ciclo del calentamiento global.

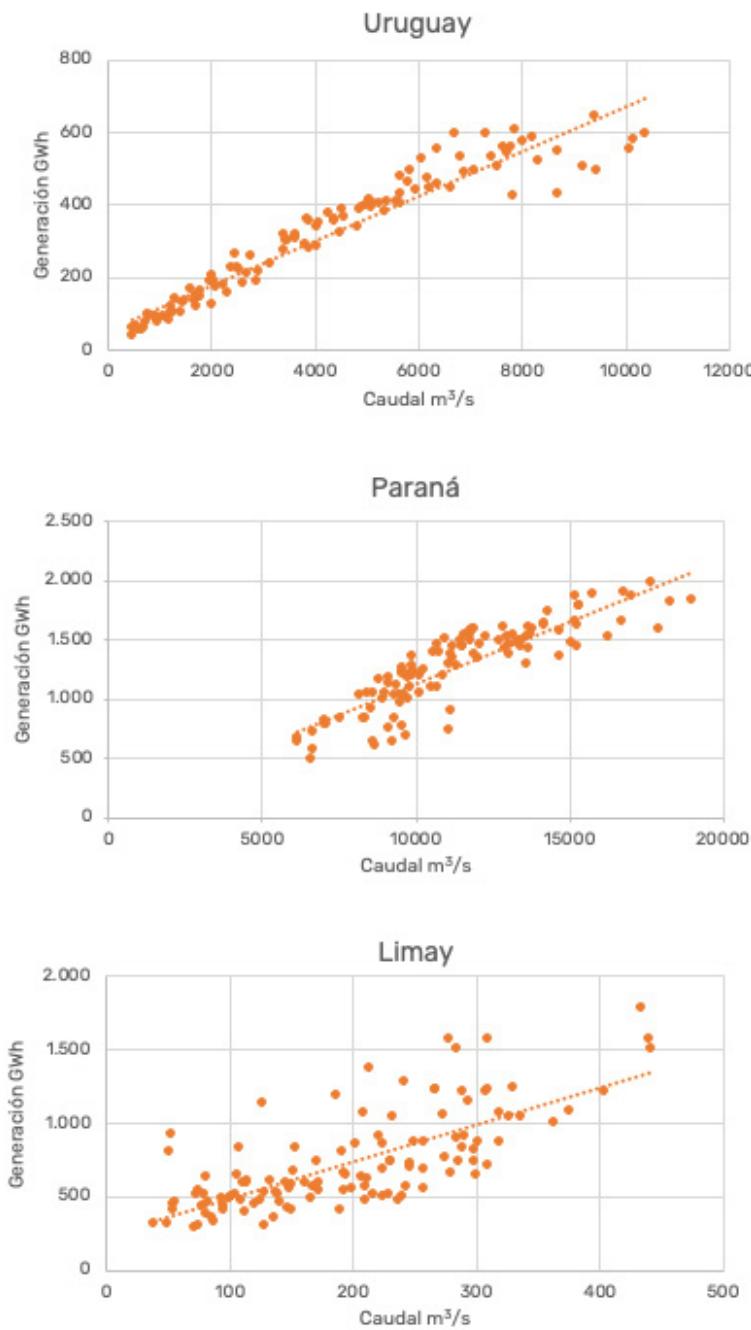
En resumen, el calentamiento global representa una amenaza directa a la eficiencia y capacidad de generación de las centrales termoeléctricas, tanto las que funcionan con combustibles fósiles como las nucleares, a partir de los aumentos de la temperatura del aire y la del agua utilizada para enfriamiento de los sistemas.

Impacto del cambio de caudales en los principales ríos de la Argentina en la generación hidroeléctrica

La disminución del caudal medio de los ríos de la cuenca del Plata, junto con la tendencia decreciente de las precipitaciones y de la acumulación de nieve en la alta cordillera de las regiones de Cuyo, Comahue y Patagonia, afectan de manera significativa la generación de energía hidroeléctrica. Este fenómeno adquiere especial relevancia considerando que las principales centrales hidroeléctricas del país se encuentran localizadas sobre ríos de gran caudal, tales como el Paraná, el Uruguay y el Limay.

La Figura 4-5 evidencia una correlación positiva y aproximadamente lineal entre el caudal medio de estos ríos y la energía generada por las centrales hidroeléctricas emplazadas en sus cursos. Esta relación indica que una disminución en el caudal fluvial conlleva, de forma proporcional, una reducción en la capacidad de generación hidroeléctrica.

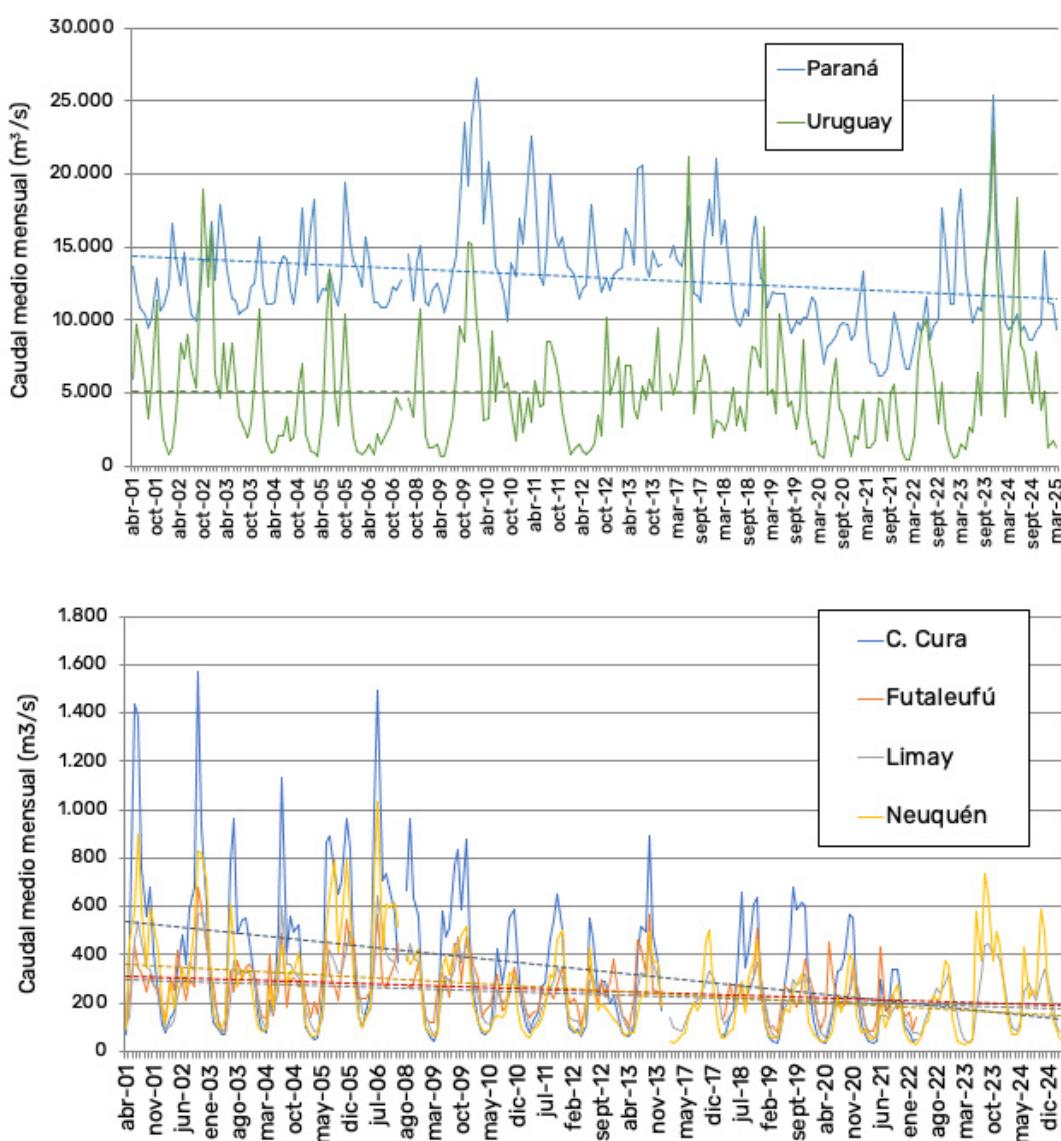
FIGURA 4.9 Relación entre la generación de energía y el caudal medio en el río Uruguay, Paraná y Limay



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA (2025).

Asimismo, la Figura 4-6 presenta la serie histórica del caudal medio de los principales ríos con centrales hidroeléctricas del país, correspondiente al período comprendido entre abril de 2001 y febrero de 2025.

FIGURA 4.10 Series históricas de los caudales medios mensuales desde abril 2001 hasta febrero 2025 para los principales ríos del país con centrales hidroeléctricas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA (2025).

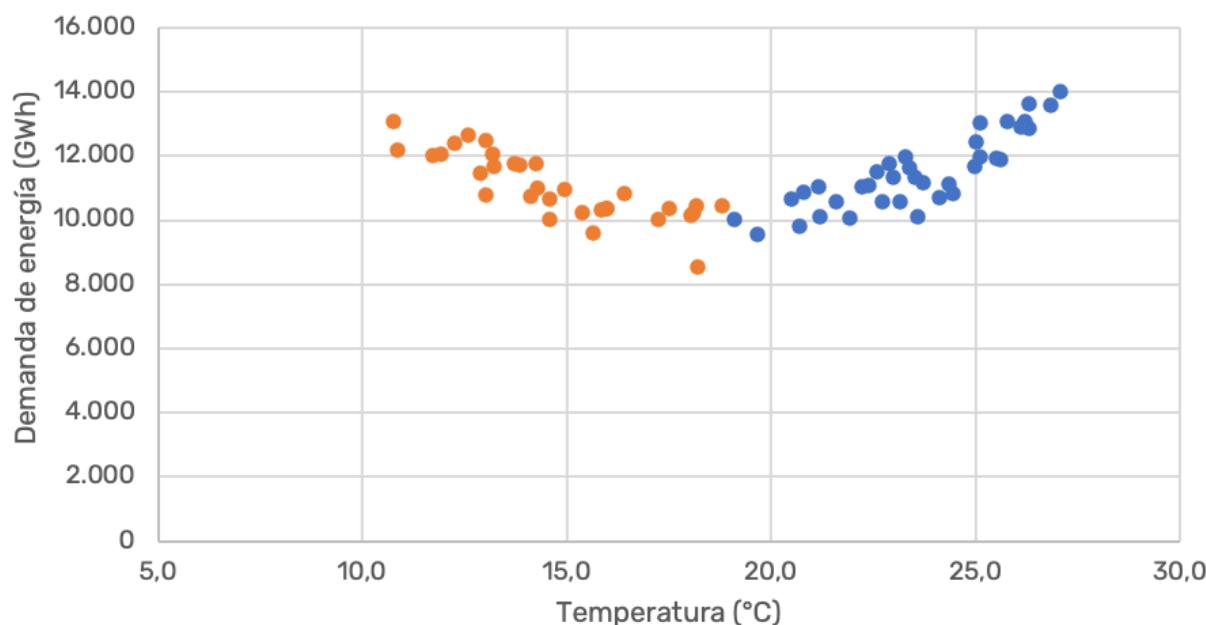
Por un lado, las series históricas muestran una tendencia descendente en la mayoría de los cursos de agua analizados, y por otro, las proyecciones de las precipitaciones anuales del IPCC en los nacimientos de estos mismos ríos también muestran un decrecimiento. Esto refuerza la preocupación por los impactos del cambio climático en la producción de energía hidroeléctrica en el mediano y largo plazo.

Impacto del aumento en olas de calor y temperaturas máximas en la demanda de energía

La demanda de energía presenta una relación directa con la temperatura ambiente, temperaturas extremas impulsan el consumo de energía asociado al acondicionamiento de espacios, tanto en hogares como en ámbitos laborales, educativos, y en todo tipo de edificios destinado a actividades humanas.

La Figura 4-7 ilustra esta relación, mostrando la evolución mensual de la demanda de energía eléctrica registrada en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) frente a la temperatura ambiente promedio en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), entre enero de 2019 y marzo de 2025.

FIGURA 4.11 Relación entre la demanda mensual de energía eléctrica y la temperatura ambiente promedio



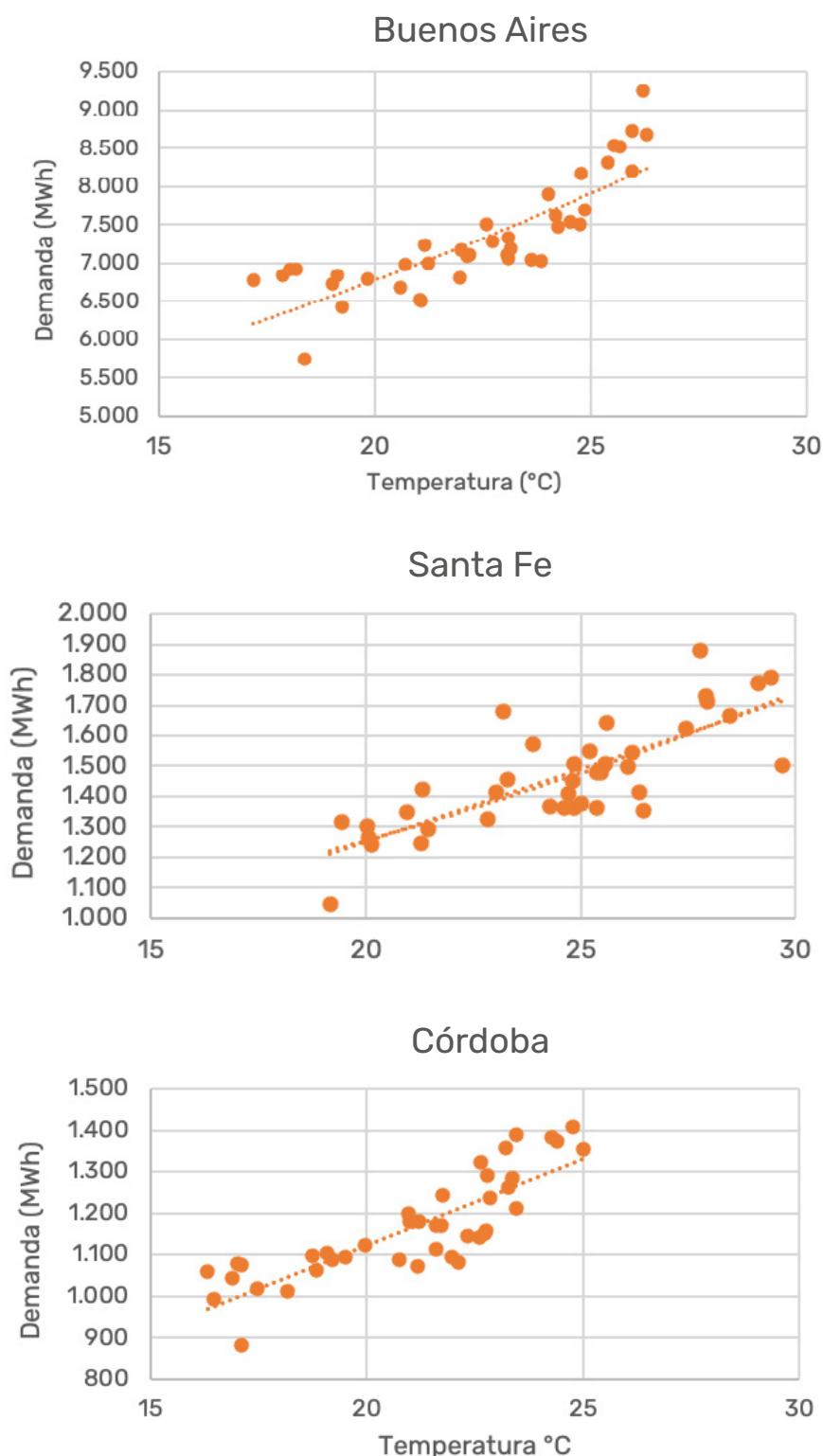
Fuente: CAMMESA (2025).

El cambio climático genera aumentos de las temperaturas máximas y una mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor, lo que desplaza la curva diaria de temperaturas hacia valores más elevados: estas condiciones intensifican la demanda de energía, generando una presión adicional sobre el sistema energético. Así sucede actualmente en distintas regiones del país y se prevé que aumente en los próximos años. Este apartado analiza el posible comportamiento de la demanda de energía eléctrica en los casos previstos.

Para comprender con precisión esta dinámica, se examinó la relación entre demanda de energía eléctrica y temperatura promedio por hora en las tres provincias con mayor consumo del país: Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba. El análisis se restringió a los meses cálidos, entre octubre y abril. La Figura 4-8 revela una clara relación exponencial entre ambas variables: a medida que aumenta la temperatura, la demanda de energía eléctrica se incrementa en una proporción mayor por cada grado adicional.

En el rango de temperaturas analizado (de 16 a 30°C), se observa que la demanda de energía eléctrica crece, en promedio, entre un 2,5% y un 4% por cada grado de incremento térmico.

FIGURA 4.12 Relación entre la demanda de energía eléctrica horaria y la temperatura ambiente para las tres provincias de mayor demanda de energía



Fuente: Elaboración propia en base a CAMMESA (2025) y NASA (2025).

Considerando las tendencias históricas de las temperaturas ambientales en estas regiones y las proyecciones del IPCC para distintos escenarios de calentamiento global, es esperable un incremento de consideración en la demanda de energía eléctrica en estas regiones.

Impacto del aumento de la temperatura del aire sobre la generación eólica

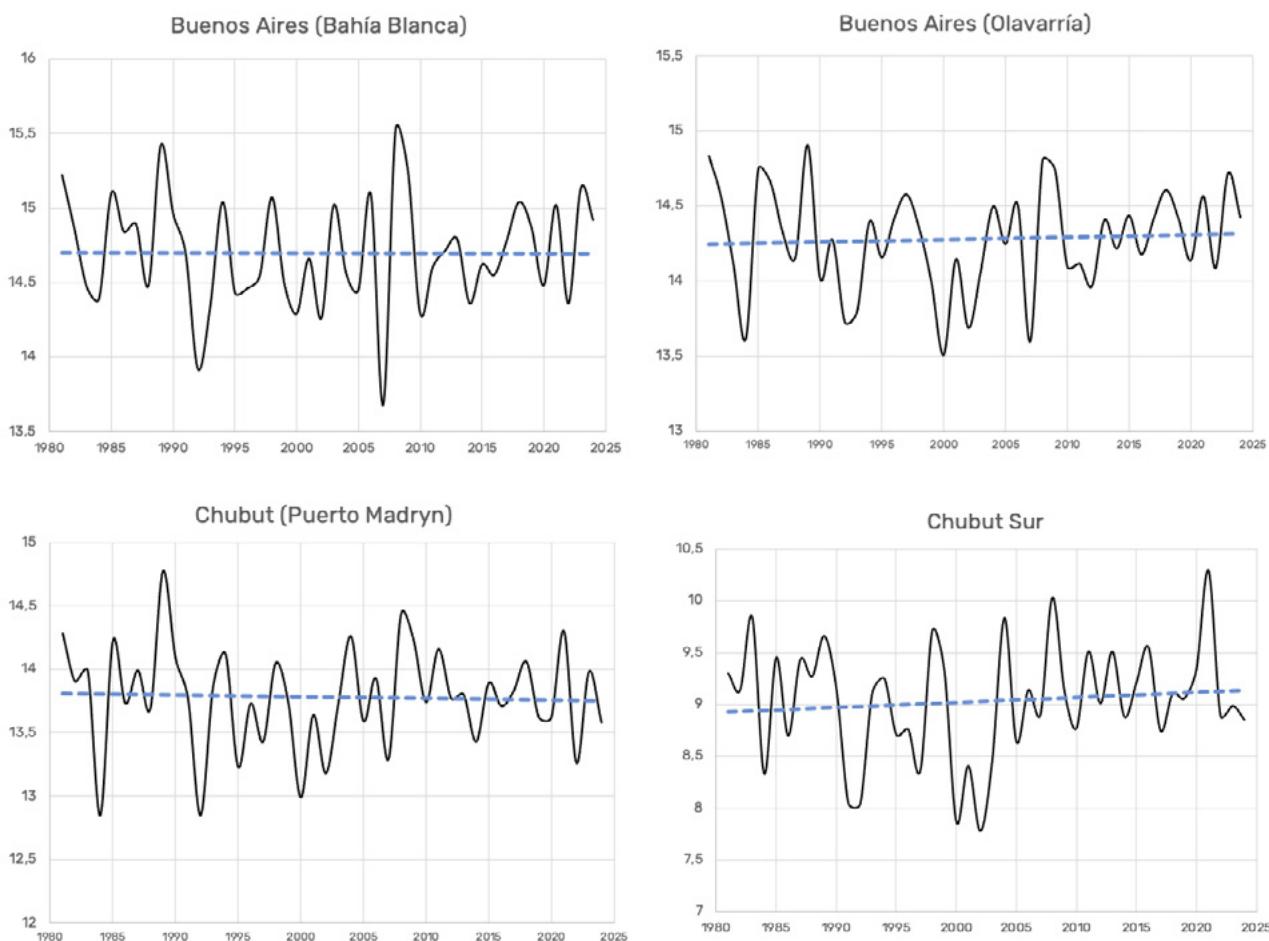
El aumento de la temperatura atmosférica provoca una disminución en la densidad del aire, lo cual puede tener un impacto negativo en la generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas (Rodríguez-López, 2020). Esto se debe a que los vientos cercanos a la superficie terrestre transportan una menor masa de aire. Dado que la potencia generada por una turbina eólica es directamente proporcional a la masa de aire que la atraviesa, una reducción en esta masa implica una disminución en la energía producida.

Para evaluar el impacto de este fenómeno, se analizó la variación de la potencia generada por una turbina eólica estándar en distintas localidades del país con buen recurso eólico.

Las proyecciones del IPCC y de la Tercera Comunicación Nacional indican aumentos significativos de entre 2°C y 5°C de las temperaturas máximas en la Patagonia y algo menor en la provincia de Buenos Aires, ambas regiones donde se encuentran los mejores regímenes de viento para la producción de energía eólica.

La Figura 4-4 presenta las tendencias históricas de la temperatura media anual registradas entre 1981 y 2024 en distintas zonas de las provincias de Buenos Aires y Chubut, regiones donde se concentra actualmente un número significativo de parques eólicos y donde, además, se proyecta la instalación de nuevos emprendimientos debido a la calidad del recurso eólico. Los datos muestran que, en varios sectores, la temperatura media anual ha evidenciado una tendencia creciente; sin embargo, esta señal no es homogénea en todo el territorio analizado, observándose una cierta variabilidad en las tendencias observadas según la zona analizada.

FIGURA 4.13. Tendencia histórica (1981-2024) de la temperatura media anual en las regiones centro y sur de la provincia de Buenos Aires (arriba izquierda y derecha respectivamente) y norte y sur de la provincia de Chubut (abajo izquierda y derecha respectivamente)



De los análisis realizados se estima que la potencia entregada por las centrales eólicas en las distintas regiones del país podría caer entre 0,35% y 0,62% por cada grado de aumento de la temperatura ambiente media.

Impacto de la alteración del régimen de vientos

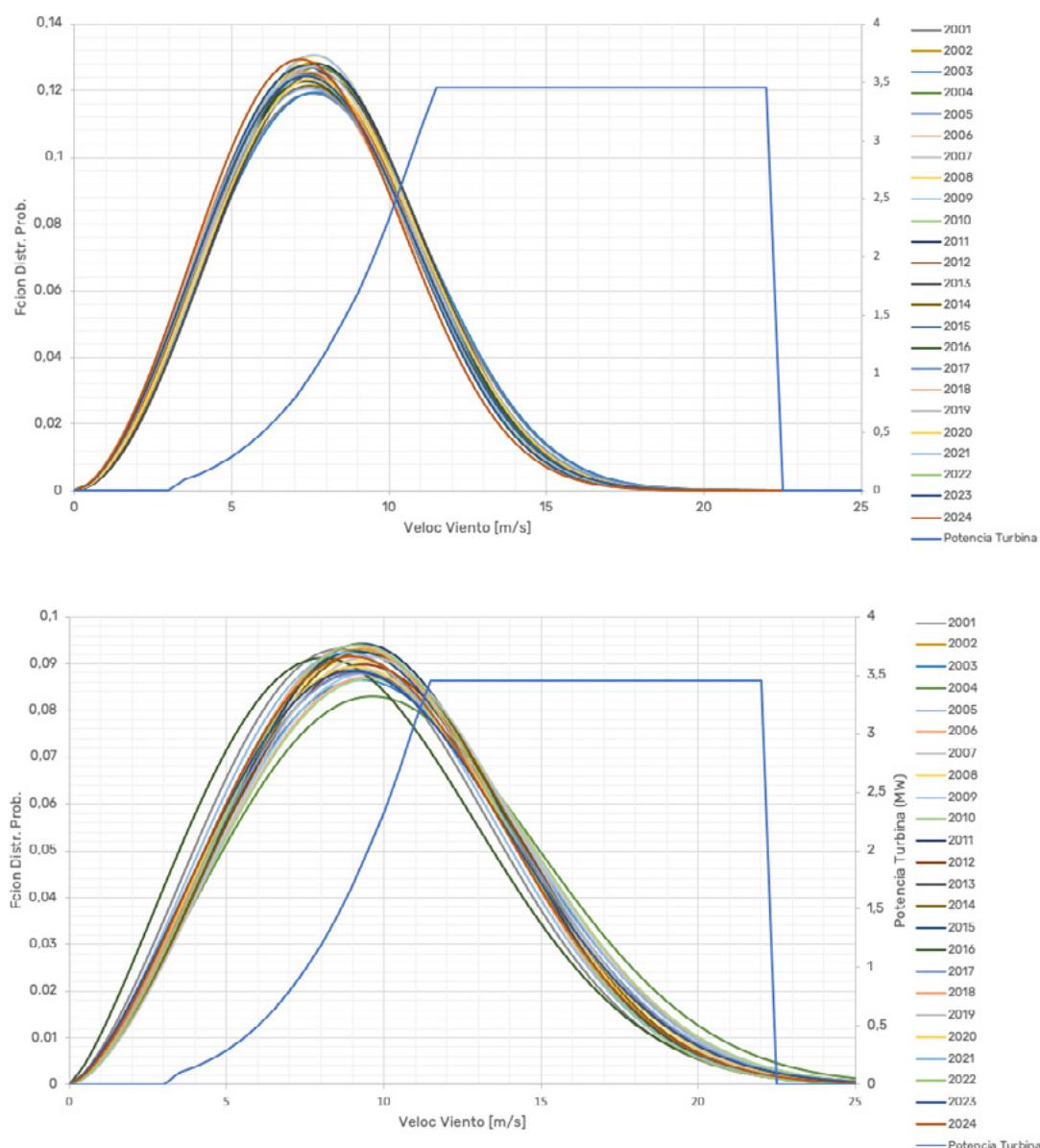
La hipótesis central que guía este análisis es que, aunque la velocidad media del viento podría mantenerse relativamente constante, el cambio climático podría estar modificando la forma de la distribución estadística de dicha variable, particularmente aumentando su desviación estándar. Esto implicaría un incremento simultáneo en la frecuencia de vientos muy bajos (por debajo de la velocidad de arranque de las turbinas eólicas) y vientos muy altos (por encima del umbral de corte de operación), lo que podría reducir el tiempo efectivo de funcionamiento de las turbinas y, por ende, su capacidad de generación eléctrica.

Para realizar este análisis, se utilizaron registros horarios de velocidad de viento para una serie temporal de 24 años para una locación cercana a la ciudad de Puerto Madryn en la Patagonia y para otra cercana a la ciudad de Olavarría en el sur de la provincia de Buenos Aires. La información fue procesada para

obtener, por año calendario, los llamados factores de *forma* y *escala* de la distribución probabilidades de Weibull que caracteriza el comportamiento estadístico del viento. Posteriormente, se aplicaron dichas distribuciones anuales a una curva de potencia representativa de una turbina eólica comercial de 3,6 MW de potencia nominal, con el fin de estimar la generación teórica anual de energía.

La Figura 4-9 muestra la modificación de las funciones de distribución anuales de probabilidad de velocidad del viento para los dos sitios analizados.

FIGURA 4.14 Funciones de distribución anuales de probabilidad de velocidad del viento para la región del centro/sur de la Provincia de Buenos Aires (arriba) y para Puerto Madryn (abajo)



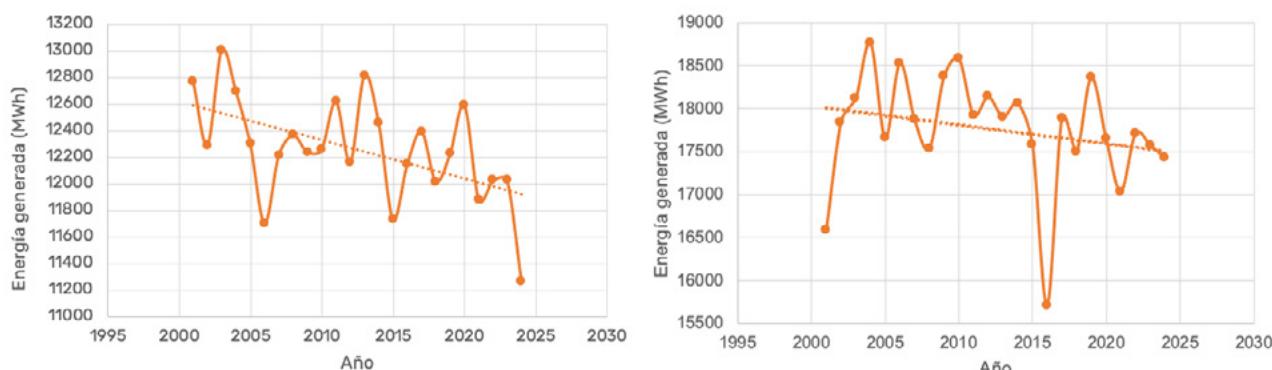
Fuente: Elaboración propia en base a NASA y especificaciones técnicas de turbinas comerciales (VESTAS, 2025).

La evolución de los factores de forma y de escala a lo largo del tiempo, estarían sugiriendo una mayor dispersión en los valores de velocidad del viento, es decir, una desviación estándar creciente, mientras se mantiene su velocidad media. Esto podría indicar que el fenómeno que se observa no es una pérdida de recurso eólico, sino una transformación en su variabilidad.

Se evidencia un ensanchamiento progresivo, aunque leve, de la curva de distribución: las curvas de los últimos años son más “achatadas” y presentan mayor probabilidad en los extremos. Este comportamiento implica que aumenta la cantidad de horas al año donde el viento sopla por debajo de la velocidad de arranque de la turbina (cercana a los 3 m/s) y también la cantidad de horas donde el viento supera la velocidad de corte (alrededor de 25 m/s), para la cual la turbina debe desconectarse por razones de seguridad.

La consecuencia directa de los cambios anteriores es una disminución progresiva en la generación de energía eólica. La Figura 4-10 muestra la energía anual generada estimada para cada año, utilizando la curva de potencia fija sobre las distribuciones de viento de cada año.

FIGURA 4.15 Evolución de la energía eléctrica anual, calculada a partir de las distribuciones de probabilidad elaboradas y de la curva de potencia de una turbina eólica típica para los dos sitios analizados, sur de la Provincia de Buenos Aires (panel izquierdo) y para Puerto Madryn (panel derecho)



Fuente: Elaboración propia en base a NASA (2025) y especificaciones técnicas de turbinas comerciales (VESTAS, 2025)

Se observa una caída significativa desde valores superiores a 12.600 MWh en los primeros años hasta valores promedio de 12.000 MWh para los últimos años considerados para el caso del sur de la provincia de Buenos Aires, y una disminución desde valores de cercanos a 18.000 MWh en el inicio del período hasta valores cercanos a 17.500 MWh para los últimos años para el caso de Puerto Madryn. Esto representa un 4.8% de reducción en el primer caso y un 2.8% para el segundo, a lo largo de todo el período.

Los resultados obtenidos sugieren que se estaría produciendo un cambio en los regímenes de viento, no tanto en términos de reducción del recurso (velocidad media), sino en su variabilidad, representada estadísticamente por su desvío estándar. Este tipo de alteración es más difícil de detectar y anticipar, pero puede tener consecuencias significativas sobre la operación y planificación del sistema eléctrico.

En el marco de los escenarios climáticos proyectados por los modelos globales y regionales, es esperable que este fenómeno de aumento en la desviación estándar de las velocidades del viento se mantenga o incluso se acentúe hacia mediados de siglo, especialmente en regiones costeras y semiáridas expuestas a patrones cada vez más extremos. Esto plantea desafíos importantes tanto para el diseño de nuevas

turbinas como para la gestión de parques eólicos existentes, que podrían operar con factores de capacidad inferiores a los esperados al momento de su instalación.

Este fenómeno, si bien aún incipiente, podría volverse más marcado hacia 2050, afectando la previsibilidad, la inversión y la operación de parques eólicos. En este sentido, es urgente que el sistema energético incorpore esta dimensión climática en su planificación, adoptando una mirada integral que considere no solo la disponibilidad de recursos, sino también su variabilidad y estabilidad operativa.

Efecto de variables climáticas sobre el rendimiento de cultivos energéticos: soja y maíz

El análisis del impacto del cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos de soja y maíz se debe a su estrecha relación con el sistema energético, ya que son utilizados en el país para la producción de biocombustibles.

Existe una correlación fuerte entre variables climáticas (temperatura y precipitación) y los rendimientos de maíz y soja. Los eventos extremos (sequías, olas de calor) son los factores climáticos más influyentes en la reducción de rendimientos (Llano, 2011).

Las proyecciones del IPCC señalan, para la región centro del país, un aumento de las temperaturas extremas, un incremento de las precipitaciones anuales y, al mismo tiempo, un leve aumento de la cantidad de días secos al año. Cambios que se profundizan según sea el escenario de calentamiento global.

En el caso del maíz, se proyectan reducciones de rendimiento de entre 2,0% y 2,9%, tanto en sistemas bajo riego como en secano. Estas caídas se explican por el aumento de la temperatura máxima, que eleva la evapotranspiración y el estrés hídrico, especialmente durante la floración, etapa crítica para este cultivo (Nelson *et al.*, 2011). En efecto, las altas temperaturas locales durante la temporada de crecimiento de la soja tienen un efecto negativo sobre su rendimiento (Ahumada & Cornejo, 2018).

Por otro lado, el aumento del CO₂ en la atmósfera tiene un impacto positivo, debido a que el efecto de la fertilización podría mitigar parcialmente las pérdidas de rendimiento, pero los beneficios son inciertos y dependientes de la especie y región (Nelson, *et al.*, 2011; MGAP-FAO, 2013).

Si bien se identifican tendencias generales, la relación entre clima y producción está mediada por múltiples factores, incluyendo el manejo agronómico, el genotipo del cultivo, la región productiva y el año climático. Los estudios realizados coinciden en que el cambio climático intensifica la variabilidad interanual, la incertidumbre productiva y los riesgos económicos.

Medidas para mejorar la resiliencia del sistema energético argentino

Los impactos actuales del cambio climático y sus proyecciones sobre el sistema energético argentino requieren de planificación. Se requieren políticas, medidas y proyectos específicos para abordarlos y fortalecer la resiliencia del sistema. Para que estas acciones sean realizables, resulta necesaria la

participación de los diferentes niveles del Estado, de los actores sociales involucrados en la problemática y de la comunidad en su conjunto abriendo canales para que esa participación sea efectiva.

En esta sección se identifican, en primer lugar, las medidas propuestas en diversos documentos oficiales elaborados en torno a la problemática del cambio climático, en respuesta a la Ley 27520 y a los compromisos asumidos por la Argentina en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En una segunda parte, se brindan una serie de recomendaciones para la construcción de la resiliencia y la seguridad energética con un enfoque regional.

Medidas identificadas en documentos oficiales

En diferentes documentos elaborados por el gobierno nacional a través de distintas administraciones, se han identificado una serie de medidas propuestas para adaptar y reducir la vulnerabilidad del sistema energético a los impactos del cambio climático.

En términos generales, estas medidas son apropiadas en su enfoque y lineamientos estratégicos, ya que reconocen los siguientes puntos clave:

- La necesidad de diversificar la matriz energética con mayor participación de fuentes renovables.
- La importancia de modernizar y fortalecer las redes de transporte y distribución de electricidad para reducir pérdidas y vulnerabilidad ante eventos extremos.
- La relevancia de mejorar la eficiencia energética en todos los sectores de consumo.
- El reconocimiento de riesgos climáticos específicos (como olas de calor, sequías, inundaciones) que afectan la infraestructura energética de manera diferencial según la región.
- El planteo de la electrificación progresiva de la demanda como estrategia de descarbonización.

Estas líneas de acción están alineadas con los compromisos internacionales asumidos por Argentina en su NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional) bajo el Acuerdo de París y son consistentes con los diagnósticos técnicos y académicos sobre las transformaciones necesarias.

Sin embargo, y pese a esa adecuación general, las medidas identificadas en los documentos oficiales presentan limitaciones importantes:

- **Nivel de generalidad excesivo.**

Muchas de las medidas están formuladas en términos demasiado amplios o programáticos, sin metas cuantitativas claras ni cronogramas de implementación. Esto debilita su potencial de orientación efectiva para las políticas públicas.

- **Falta de priorización operativa.**

Aunque se listan múltiples líneas de acción, no se establece un orden de prioridad realista considerando los recursos disponibles, las capacidades institucionales y las necesidades más urgentes de adaptación.

- **Desarticulación entre mitigación y adaptación.**

Si bien se reconoce la necesidad de un enfoque integral, en la práctica las medidas de mitigación (transición energética) y las de adaptación (reducción de vulnerabilidad a eventos climáticos extremos) suelen abordarse de manera paralela pero no integrada. Falta un análisis sistémico que vincule cómo una matriz energética más renovable y descentralizada también contribuye a la resiliencia.

- **Insuficiente mención a la dimensión social y territorial.**

Las propuestas tienden a centrarse en la infraestructura y la tecnología, pero dejan en un plano secundario los mecanismos para garantizar la inclusión social, la participación de actores locales y el respeto de los derechos de comunidades afectadas, incluyendo pueblos originarios.

- **Escasa consideración de los “bloqueos” estructurales.**

Los documentos reconocen la necesidad de transformar la matriz energética, pero no problematizan lo suficiente la persistencia de subsidios a los combustibles fósiles, la planificación centrada en la expansión de infraestructura fósil (como gasoductos desde Vaca Muerta) ni la concentración corporativa en el sector. Sin abordar estos temas, las medidas de transición pierden efectividad.

- **Carencia de instrumentos financieros claros.**

Si bien se mencionan inversiones necesarias, no se detallan los mecanismos para financiarlas de forma sostenida, ni se especifica cómo se movilizarán recursos públicos y privados para evitar depender exclusivamente de créditos internacionales o condicionalidades externas.

Las medidas identificadas en el IBT 2023 y el PNAYMCC son, en su formulación, un avance necesario y un aporte para incorporar la cuestión de la adaptación del sistema energético en la agenda política y reconocer la urgencia de la transición energética. Sin embargo, para que sean efectivas necesitan pasar de la declaración a la implementación concreta, con metas claras, financiamiento asegurado, articulación territorial, justicia social y un cambio profundo de las prioridades de inversión. De lo contrario, corremos el riesgo de repetir la inacción disfrazada de planificación, mientras la vulnerabilidad del sistema energético frente a los impactos del cambio climático sigue creciendo, junto con sus costos sociales y económicos.

A continuación, se presentan las medidas oficiales presentadas por el gobierno nacional. En el primer Informe Bienal de Transparencia (IBT), presentado en noviembre de 2023 (SSAmb, 2024), se registran, por un lado, algunas medidas de mitigación en el sector energético relacionadas con el cumplimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020):

TABLA 5.2 Medidas de mitigación relacionadas con la aplicación de la NDC

Sector	Categorías del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI)	Medida	Código de la medida en el Sistema Nacional de Monitoreo de Medidas de Mitigación (SNMM)M
Energía	1A1a - Energía / Actividades de quema del combustible / Industrias de la energía / Producción pública de electricidad y calor.	Generación eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales conectadas a la red (ley nº 26.190)	01_01
	1A3 - Energía / Actividades de quema del combustible / Transporte.	Corte con biocombustibles	01_03
	1A4 - Energía / Actividades de quema del combustible / Otros sectores / Agricultura y Silvicultura		
	1A1a - Energía / Actividades de quema del combustible / Industrias de la energía / Producción pública de electricidad y calor.	Generación hidroeléctrica	01_04
	1A1a - Energía / Actividades de quema del combustible / Industrias de la energía / Producción pública de electricidad y calor.	Generación nuclear	01_05

Fuente: SSAmb, 2024.

Por otro lado, el IBT también registra una serie de riesgos prioritarios por región, extraídos a su vez del Plan Nacional de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático (PNAyMCC)¹ (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022) los cuales se muestran en la Tabla 5-2, a continuación:

1. En noviembre del año 2022, la República Argentina presentó su segundo PNAyMCC. Es el instrumento nacional que tiene como objetivo cumplimentar las obligaciones establecidas por la Ley 27.520 y su Decreto Reglamentario 1.030/2020. Según el propio IBT “El PNAyMCC se construyó con la participación de todos los ministerios nacionales, a través de Reuniones de Ministros y Ministras y de las Mesas de Puntos Focales del GNCC; de las 24 jurisdicciones, por medio de la Mesa de Articulación Provincial del GNCC, y de los representantes de la Mesa Ampliada y del CAE. Dicho plan, aprobado mediante Resolución del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAdS) 146/2023, detalla los medios y acciones necesarias para alcanzar las metas de adaptación y mitigación planteadas en la segunda NDC.” El PNAyMCC cuenta con seis líneas estratégicas, cuatro líneas instrumentales, cuatro enfoques transversales y 250 medidas de mitigación, adaptación y pérdidas y daños. Las líneas estratégicas del PNAyMCC están orientadas a impulsar un desarrollo bajo en emisiones y resiliente a los efectos del cambio climático.

TABLA 5.3 Riesgos prioritarios

Riesgo	Región	Sectores involucrados
Riesgo de limitaciones en la generación hidroeléctrica por disminución en la disponibilidad de agua.	Todas	Agua; energía
Riesgo de pérdida de las fuentes de ingreso monetario debido a afectaciones a las actividades productivas por cortes en el suministro de energía tras afectaciones a las redes de transmisión y distribución, atribuibles a eventos climáticos extremos.	NOA y Patagonia	Energía; desarrollo productivo
Riesgo de afectación a la salud y confort de la población urbana por cortes en el suministro de energía eléctrica debido a efectos nocivos sobre la infraestructura de las redes de transmisión y distribución asociados a olas de calor.	Centro	Salud; energía
Riesgo de aumento de hospitalizaciones y defunciones en personas mayores, niñas y niños pequeños/os y personas con enfermedades crónicas (cardiovasculares, renales, respiratorias, hipertensión, diabetes y obesidad), Pueblos Indígenas, personas con discapacidad y aquellas personas en situación de vulnerabilidad, como en situación de calle, que viven en entornos deficientes, debido a olas de calor.	Centro	Salud; energía
Riesgo de pérdida de las fuentes de ingreso monetario por afectaciones a la actividad turística debido a la ocurrencia de eventos extremos (olas de calor, lluvias intensas, aludes e incendios).	NOA	Movilidad; energía; patrimonio cultural; turismo y deportes
Riesgo de afectación a la salud y confort de la población urbana y rural por falta de acceso a energía debido a precipitaciones intensas y otras amenazas.	Patagonia	Salud; energía

Fuente: SSAMb, 2024.

En función de las vulnerabilidades y riesgos identificados, el PNAYMCC propone una serie de medidas dentro de la Línea estratégica: Transición energética, como muestra la tabla 5-3:

TABLA 5.4 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN, MITIGACIÓN O PÉRDIDAS Y DAÑOS: LÍNEA ESTRATÉGICA: TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Código de medida	Línea de acción	Título de medida	Adaptación, Mitigación o Pérdidas y daños	Ministerio/ Secretaría con quién se la está trabajando
TE-01	Desarrollo de capacidades tecnológicas nacionales	Desarrollar la cadena de valor de energías renovables	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo
TE-02	Eficiencia energética	Promover la mejora en el acondicionamiento térmico de ambientes en el sector residencial	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-03	Eficiencia energética	Sustituir equipos de conservación de alimentos en viviendas, comercios y entidades con fines sociocomunitarios	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-04	Eficiencia energética	Promover la eficiencia energética en la producción de agua caliente sanitaria	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-05	Eficiencia energética	Incrementar la participación de luminarias con tecnología LED en inmuebles.	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-06	Eficiencia energética	Promover la incorporación de economizadores de agua en inmuebles	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-07	Eficiencia energética	Mejorar la eficiencia energética en establecimientos industriales y comerciales	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía y Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo
TE-08	Eficiencia energética	Sensibilizar y concientizar a las comunidades sobre el uso racional de la energía	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-09	Eficiencia energética	Aumentar la eficiencia en la generación de electricidad en centrales termoeléctricas mediante cogeneración	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-10	Eficiencia energética	Implementar proyectos de reconversión LED en alumbrado público	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía, Ministerio de Desarrollo Territorial y Hábitat y Ministerio de Obras Públicas
TE-11	Eficiencia energética	Incorporar bombas de calor para calefacción en inmuebles	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-12	Eficiencia energética	Diseño e implementación de instrumentos tendientes a la promoción y adopción de tecnologías para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de metano en operaciones de exploración, producción y/o procesamiento de hidrocarburos (upstream)	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-13	Energía limpia en emisiones de GEI	Incorporar fuentes de energía renovable en industrias y comercios	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía y Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo

Código de medida	Línea de acción	Título de medida	Adaptación, Mitigación o Pérdidas y daños	Ministerio/ Secretaría con quién se la está trabajando
TE-14	Energía limpia en emisiones de GEI	Promover la instalación de colectores solares en viviendas	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-15	Energía limpia en emisiones de GEI	Implementar proyectos de generación eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales conectadas a la red	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-16	Energía limpia en emisiones de GEI	Potenciar la generación nuclear	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-17	Energía limpia en emisiones de GEI	Potenciar la generación hidroeléctrica considerando los escenarios futuros de cambio climático en las variables de diseño	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
TE-18	Energía limpia en emisiones de GEI	Promover la generación eléctrica distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-19	Energía limpia en emisiones de GEI	Promover el corte con biocombustibles	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-20	Energía limpia en emisiones de GEI	Brindar acceso a energía a comunidades rurales aisladas a partir de fuentes renovables	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-21	Energía limpia en emisiones de GEI	Aprovechar de manera sostenible la biomasa residual del sector agropecuario y agroindustrial	Mitigación	Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca
TE-22	Energía limpia en emisiones de GEI	Promover la adopción de biogás para uso final en el sector de transporte	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-23	Energía limpia en emisiones de GEI	Reducir la contaminación de los combustibles líquidos utilizados en el territorio nacional	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-24	Energía limpia en emisiones de GEI	Desarrollar mercados eléctricos regionales de energía renovable a baja escala	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía
TE-25	Estrategia nacional para el desarrollo del hidrógeno	Promover la adopción del hidrógeno con bajas emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo de la cadena de valor	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-26	Estrategia nacional para el desarrollo del hidrógeno	Identificar redes de investigación e institutos como aporte para una Estrategia Nacional de H2	Mitigación	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
TE-27	Estrategia nacional para el desarrollo del hidrógeno	Fortalecer la investigación y el desarrollo de la producción de hidrógeno bajo en carbono en el país	Mitigación	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
TE-28	Gasificación	Promover el uso de combustibles gaseosos en reemplazo de combustibles fósiles con mayor factor de emisión de GEI	Mitigación	Secretaría de Energía

Código de medida	Línea de acción	Título de medida	Adaptación, Mitigación o Pérdidas y daños	Ministerio/ Secretaría con quién se la está trabajando
TE-29	Resiliencia del sistema energético	Ampliar y mejorar el sistema de transmisión eléctrica considerando los escenarios futuros de cambio climático	Adaptación	Secretaría de Energía
TE-30	Resiliencia del sistema energético	Fortalecer las redes de distribución de energía eléctrica existentes para aumentar su resiliencia frente al cambio climático	Adaptación	Secretaría de Energía
TE-31	Resiliencia del sistema energético	Aumentar el acceso seguro a energía en poblaciones rurales y urbanas, con foco en barrios populares	Adaptación	Secretaría de Energía
TE-32	Planificación y monitoreo del desarrollo energético	Fortalecer la planificación energética limpia, justa y sostenible	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-33	Planificación y monitoreo del desarrollo energético	Fortalecer las capacidades de las autoridades de aplicación provincial en materia de identificación, monitoreo y control de emisiones operativas (quema y venteo) y fugitivas de gases de efecto invernadero y metano del upstream.	Mitigación	Secretaría de Energía
TE-34	Planificación y monitoreo del desarrollo energético	Desarrollar planes de monitoreo, reporte, verificación y mitigación de emisiones de GEIs con objetivos de cumplimiento obligatorio por parte de las empresas	Adaptación y Mitigación	Secretaría de Energía

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS), 2022.

Recomendaciones para construir resiliencia energética con enfoque territorial

La adaptación del sistema energético argentino al cambio climático exige algo más que tecnología o financiamiento: requiere una comprensión territorial de los impactos específicos que el cambio climático proyecta sobre las distintas formas de generación, distribución y consumo de energía.

El país necesita una matriz energética diversificada para una geografía heterogénea, que se traduce en vulnerabilidades climáticas diferenciadas por región. Para fortalecer su resiliencia, Argentina debe desarrollar políticas que articulen los impactos técnicos concretos del cambio climático (sobre cada tecnología de generación y sobre la demanda) con las proyecciones regionales de riesgos como olas de calor, sequías, inundaciones, incendios o variaciones hidrológicas.

Este apartado propone analizar, de manera integrada, cómo los impactos climáticos específicos sobre la generación y la demanda energética se entrecruzan con las realidades territoriales de las principales regiones argentinas, proponiendo criterios para medidas de adaptación diferenciadas y efectivas.

Impactos regionales proyectados del cambio climático sobre el sistema energético

NOA (NOROESTE ARGENTINO): EXPOSICIÓN TÉRMICA Y RIESGO HÍDRICO

El NOA se proyecta como una de las regiones más vulnerables al aumento de la temperatura media y las olas de calor extremas. Además, se enfrenta a escenarios de mayor frecuencia de sequías e incendios forestales y reducción de caudales hídricos en sus ríos de montaña.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Solar fotovoltaica:** las altas temperaturas reducen la eficiencia de los paneles. Los cambios en el índice de claridad (Kt) pueden alterar la previsibilidad de generación, especialmente en zonas con mayor nubosidad estacional.
- **Eólica:** el aumento de la temperatura reduce la densidad del aire, disminuyendo potencia extraíble.
- **Térmica turbina de gas:** el aire caliente reduce la eficiencia térmica y, fundamentalmente, la potencia en turbinas de gas.
- **Térmica turbina de vapor/ciclo combinado:** la disminución de los caudales y el aumento de las temperaturas en ríos reducen la capacidad de enfriamiento.
- **Demandas:** aumento fuerte de la demanda pico para refrigeración en ciudades y pueblos, con riesgo de cortes por sobrecarga.

CUYO: VULNERABILIDAD EXTREMA A LA ESCASEZ HÍDRICA

La región de Cuyo ya vive un estrés hídrico significativo, agravado por el retroceso de glaciares, la reducción de caudales y proyecciones de sequías prolongadas. Al mismo tiempo, las temperaturas más altas presionarán la demanda energética urbana.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Solar fotovoltaica:** beneficio de irradiación alta, pero con penalizaciones por calor extremo y posibles variaciones en el índice de claridad (Kt).
- **Eólica:** afectada por menor densidad del aire y posible cambio en régimen de vientos, con mayores velocidades máximas y menores velocidades mínimas.
- **Térmica turbina de gas:** eficiencia y potencia reducida por aire caliente.
- **Térmica turbina de vapor/ciclo combinado:** límites operativos por temperaturas de ríos más altas y menores caudales.
- **Hidroeléctrica:** reducción de caudales y capacidad de embalse.
- **Demandas:** crecientes picos por refrigeración en ciudades como Mendoza y San Juan.

NEA (NORESTE ARGENTINO): INUNDACIONES, CALOR EXTREMO Y ALTA VULNERABILIDAD SOCIAL

El NEA enfrenta proyecciones de mayor intensidad de lluvias e inundaciones, así como olas de calor y problemas de salud asociados. Las redes eléctricas extensas y poco resilientes pueden sufrir interrupciones frecuentes.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Solar fotovoltaica:** cambios en el índice de claridad (K_t) por nubosidad variable afectan la previabilidad de generación.
- **Eólica:** impacto menor en densidad del aire, pero sujeto a eventos climáticos extremos con ráfagas de viento.
- **Térmica turbina de gas:** reducción de potencia y eficiencia térmica en picos de calor.
- **Demanda:** A aumento significativo de la demanda por aire acondicionado, con riesgo de sobrecargas y cortes.
- **Redes eléctricas:** mayor vulnerabilidad de las redes eléctricas a inundaciones y tormentas.

CENTRO Y PAMPEANA: OLAS DE CALOR, ESTRÉS EN REDES URBANAS Y PICOS DE DEMANDA

El corazón productivo del país proyecta incrementos marcados en olas de calor y temperaturas máximas, con un efecto directo sobre la demanda energética urbana e industrial.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Solar fotovoltaica:** beneficiada por buena irradiación, pero sensible a calor extremo.
- **Térmica turbina de gas:** reducción de potencia y eficiencia operativa en días calurosos.
- **Demanda:** crecimiento de picos de consumo eléctrico por refrigeración en ciudades y zonas industriales.

PATAGONIA: VULNERABILIDAD LOGÍSTICA, HIDROELECTRICIDAD Y COMUNIDADES AISLADAS

La Patagonia combina amenazas de reducción de caudales, cambios en régimen de nevadas y fenómenos extremos (tormentas, nieve, aludes). A esto se suma la dificultad de mantener redes extensas en zonas remotas.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Hidroeléctrica:** reducción de caudales impacta en la generación planificada.
- **Solar fotovoltaica:** beneficiada en sectores áridos pero afectada por fríos extremos en otros.

- **Eólica:** en general favorecida, pero con variabilidad interanual, potencial modificación del régimen de vientos, con mayores velocidades máximas y menores velocidades mínimas.
- **Demanda:** variabilidad estacional alta y necesidad de calefacción en invierno.

ÁREA METROPOLITANA Y GRANDES CENTROS URBANOS

Las áreas más pobladas del país ya sufren olas de calor que sobrecargan redes y multiplican la demanda de refrigeración.

Se esperan los siguientes impactos específicos:

- **Térmica turbina de gas y vapor:** menor eficiencia térmica y menor potencia en picos de calor.
- **Demanda:** picos extremos en olas de calor, con riesgo de cortes.

Lineamientos para la acción

Frente a este escenario, no alcanza con medidas técnicas fragmentadas. Se necesita una transformación profunda del sistema energético, guiada por dos pilares fundamentales:

1. La diversificación de recursos y tecnologías, con énfasis en los contextos regionales.
2. La descentralización de la producción energética y, sobre todo, de la gestión, la planificación y la toma de decisiones.

DIVERSIFICACIÓN REGIONAL DE RECURSOS Y TECNOLOGÍAS

La matriz energética argentina debe dejar de depender de unas pocas fuentes (gas, grandes hidroeléctricas) y de modelos homogéneos. Cada región del país cuenta con recursos energéticos diversos: sol en Cuyo y el NOA, viento en la Patagonia, biomasa en el NEA y zonas agroindustriales, agua en distintas cuencas, geotermia en sectores andinos. A la vez, cada una enfrenta impactos climáticos diferenciados.

La diversificación no es un objetivo genérico: es una respuesta concreta al riesgo de dependencia de pocos recursos o tecnologías vulnerables al cambio climático. Por eso, la política energética debe incorporar la diversificación no como un resultado técnico, sino como un principio rector de planificación regional.

Prioridades estratégicas:

1. **Identificar y mapear escenarios climáticos regionales**
 - Desarrollar y actualizar atlas energéticos regionales con proyecciones de recursos renovables, disponibilidad hídrica, temperatura y demanda esperada.
 - Establecer escenarios de riesgo climático obligatorios para la planificación de generación y redes.

2. Definir matrices energéticas regionales prioritarias

- En NOA y Cuyo: solar con almacenamiento, enfriamiento seco en térmicas, gestión de demanda para olas de calor.
- En NEA: microredes solares comunitarias, biomasa sostenible, redes reforzadas para inundaciones.
- En Patagonia: hibridación eólica-solar, hidro de pasada con regulación flexible.
- En Centro y AMBA: solar distribuida, eficiencia térmica en edificios, almacenamiento urbano.

3. Redirigir subsidios y financiamiento

- Terminar progresivamente con subsidios a combustibles fósiles que consolidan infraestructura vulnerable.
- Crear fondos específicos de diversificación energética regional, con criterios de resiliencia climática y equidad social.

4. Incorporar resiliencia climática en regulaciones

- Hacer obligatoria la evaluación de riesgo climático en proyectos energéticos grandes.
- Exigir criterios de diseño resiliente para redes y centrales (por ej. capacidad para soportar olas de calor, sequías, inundaciones).

DESCENTRALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y, SOBRE TODO, DE LA GESTIÓN

Una verdadera transformación energética no puede sostenerse sobre un modelo altamente centralizado. La descentralización es necesaria tanto para mejorar la eficiencia del sistema como para democratizar el acceso y la toma de decisiones.

Para que sea realizable, es urgente incorporar la energía en la agenda política local, articulándola con el desarrollo productivo, la planificación urbana y la justicia social. Ninguna política energética será sostenible si no se construye desde el territorio.

Prioridades estratégicas:

1. Fortalecer capacidades provinciales y locales

- Financiar la creación de áreas técnicas provinciales y municipales con mandato y recursos para planificación energética con enfoque climático.
- Ofrecer asistencia técnica federal para elaborar planes energéticos regionales.

2. Apoyar modelos de gestión comunitaria y cooperativa

- Crear programas de crédito y asistencia específica para cooperativas eléctricas, comunidades indígenas y organizaciones locales.
- Priorizar proyectos que incluyan gobernanza local en la operación y mantenimiento.
- Otorgar margen de decisión a provincias y municipios sobre las prioridades de inversión.

3. Incorporar la energía en la agenda política local

- Impulsar foros provinciales y municipales de transición energética con actores sociales, productivos y científicos.
- Establecer la energía como un tema central de los planes de desarrollo territorial.
- Fomentar la generación térmica y eléctrica distribuida, incluyendo tecnologías como solar térmica, calefacción distrital, biogás, microhidros y almacenamiento.
- Reconocer y fortalecer el rol de cooperativas eléctricas, gobiernos locales y comunidades indígenas como actores legítimos de la transición energética.
- Desarrollar espacios de planificación energética interjurisdiccional y participativa, donde la Nación acompañe procesos regionales desde el respeto a la autonomía territorial.

INSTRUMENTOS TRANSVERSALES: PARA SOSTENER LA DIVERSIFICACIÓN Y LA DESCENTRALIZACIÓN

Para que estos dos ejes sean efectivos, se necesitan instrumentos de apoyo claros y una base sólida de información y anticipación:

1. Información y monitoreo

- Desarrollar sistemas de monitoreo climático-energético en tiempo real con acceso público.
- Implementar protocolos de alerta temprana para eventos extremos con coordinación nacional y local.

2. Revisión de la arquitectura institucional

- Crear espacios permanentes de planificación energética-climática integrada, con representación de provincias, municipios y actores sociales.
- Establecer mecanismos interministeriales obligatorios para coordinar políticas energéticas, hídricas, de desarrollo productivo y social.

3. Coherencia regulatoria y de incentivos

- Establecer regulaciones claras y predecibles para renovables y generación distribuida, tanto eléctrica como térmica.

- Crear sistema de tarifas que incentiven la generación de energía distribuida y renovable, la eficiencia y la gestión de la demanda, especialmente en zonas críticas.

Comentarios finales

En un contexto de riesgos crecientes y desigualdades territoriales históricas, el futuro del sistema energético debe construirse sobre diversificación regional, descentralización real de la gestión y una nueva gobernanza pública.

La planificación de la resiliencia energética en Argentina no puede ignorar la territorialidad de los impactos climáticos proyectados. Cada región enfrenta desafíos climáticos específicos que interactúan con las tecnologías de generación y con los patrones de demanda locales. Es necesario territorializar las estrategias: adaptar las soluciones a los riesgos locales, a los recursos disponibles y a las capacidades institucionales de cada región.

Esto implica diseñar un sistema diversificado, descentralizado y adaptado a las circunstancias y a los riesgos locales, que garantice acceso seguro y asequible a la energía en todos los territorios.

Para ello, Argentina debe avanzar en diagnósticos territoriales de alta resolución y gobernanza multinivel que incluya a provincias, municipios y comunidades locales.

La resiliencia energética no es sólo un objetivo técnico. Es una condición básica para enfrentar los impactos del cambio climático sin agravar las desigualdades existentes. La planificación energética del futuro debe nacer del reconocimiento profundo de nuestro territorio y sus múltiples realidades. Por ello, es imprescindible descentralizar las decisiones energéticas, fortalecer la articulación entre niveles de gobierno y garantizar el acceso seguro, equitativo y sostenible a la energía en todos los territorios.

Bibliografía

Ahumada, H., & Cornejo, M. (2018). Are soybean yields getting a free ride from climate change? En *III Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*. La Plata, 14 al 16 de noviembre de 2018.

Aly, S. P., Ahzi, S., & Barth, N. (2019). Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 200, 109948.

Asian Development Bank. (2022). Philippines: Typhoon Odette emergency response (Grant 0828-PHI). Asian Development Bank. <https://www.adb.org/projects/55365-001/main>

Babatunde, E. B., & Aro, T. O. (1995). Relationship between "clearness index" and "cloudiness index" at a tropical station (Ilorin, Nigeria). *Renewable Energy*, 6(7), 801-805.

Battioni, M., Risso, G. A., Cutrera, M., & Schmidt, J. (2016). Evaluación de distintos métodos para estimar la temperatura de operación de módulos fotovoltaicos y estimación de las pérdidas de energía por efecto de la temperatura. In *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*(La Plata, 2016).

Bellato, R. (2025). Ola de calor: Apagón en el centro y norte del país y consumo eléctrico al borde del récord. *Econo Journal*. <https://econojournal.com.ar/2025/02/ola-de-calor-apagon-en-el-centro-y-norte-del-pais-y-consumo-electrico-al-borde-del-record/>

Bloomberg (2022). Ola de calor: Más de 700.000 usuarios afectados por apagón de luz en Buenos Aires. <https://www.bloomberglinea.com/2022/01/11/ola-de-calor-mas-de-700000-usuarios-afectados-por-apagon-de-luz-en-buenos-aires/>

CAMMESA (2025) Informes mensuales, Base de datos, Variables Relevantes del MEM. <https://cammesaweb.cammesa.com/variables-relevantes-mem/>

CGTN (2024) Consumo de energía eléctrica de China sube 8,5% en septiembre . China Global Television Network. <https://espanol.cgtn.com/news/2024-10-20/1847872229047832577/index.html>

Climate Central (2024). Heat season power outages. <https://www.climatecentral.org/climate-matters/heat-season-power-outages>

C40 (s.f.) Aumento del nivel del mar y sistemas de energía. C40 cities. <https://www.c40.org/es/what-we-do/scaling-up-climate-action/water-heat-nature/the-future-we-dont-want/sea-level-rise-and-energy-systems/>

Dubey, S., Sarvaiya, J. N., & Seshadri, B. (2013). Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world—a review. *Energy procedia*, 33, 311-321.

FERC & NERC (2023). FERC, NERC release final report on lessons from Winter Storm Elliott. Federal Energy Regulatory Commission. <https://www.ferc.gov/news-events/news/ferc-nerc-release-final-report-lessons-winter-storm-elliott>

Gungor, H. et al. (2024). Effects of Increasing Ambient Temperature and SST on Combined Cycle Power Plant, Sustainability, 17(4605).

Iqbal, M. (1983). *An Introduction to solar radiation*, 1a Ed., pp. 408. Academic Press, New York.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

IRENA (2024). Geopolitics of the energy transition: Energy security, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Apr/IRENA_Geopolitics_transition_energy_security_2024.pdf

Llano, M. P. (2011). Aspectos de la climatología y de los rendimientos de maíz y soja en zonas productoras mundiales. Coherencias regionales y análisis de extremos (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Lyster R., Farber, D.A., McFadden R. (2022). 'Climate-Induced Wildfires and Strengthening Resilience in Electricity Infrastructure' 18(2) Utrecht Law Review 87-106. DOI: <https://doi.org/10.36633/ulr.812>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Argentina_Segunda%20Contribuci%C3%B3n%20Nacional.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022). Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina, 2022. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_-_adaptacion_y_mitigacion_al_cambio_climatico_1285pag_1.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023). Quinto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/5to%20Informe%20Bienal%20de%20Actualizaci%C3%B3n%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%20Argentina.pdf>

MGAP-FAO (2013). Sensibilidad y capacidad adaptativa de la agricultura de secano y el arroz frente al cambio climático. Volumen V de Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Autores: Mazzilli, Sebastián; Bonilla, Camila; Siri, Guillermo; Arbeletche, Pedro; Rubio, Valentina; Bacigaluz, Pilar; Taks, Javier; García, Martín; Cobas, Paula; Mondelli, Mario; Cruz, Gabriela; Astigarraga, Laura; Picasso, Valentín. Resultado del Proyecto FAO TCP URU 3302, Montevideo.

NASA (2025). Data Access Viewer. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Langley Research Center's Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) project funded through the NASA Earth Science Division. POWER Project's Hourly 2.5.1 version on 2025/03/25. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... & Lee, D. (2009). Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación

Rangelova, K., Jones, D., & Fulghum, N. (2025). Powering through the heat: How 2024 heatwaves reshaped electricity demand. Ember. <https://ember-energy.org/latest-insights/powering-through-the-heat-how-2024-heatwaves-reshaped-electricity-demand/>

Rodríguez-López, M. Á., Cerdá, E., & Rio, P. D. (2020). Modeling wind-turbine power curves: effects of environmental temperature on wind energy generation. Energies, 13(18), 4941.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2015). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de la República Argentina. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Argnc3.pdf>

Singh, S., & Kumar, R. (2012). Ambient Air Temperature Effect on Power Plant Performance, IJEST, 4(8), 3916–3923.

Subsecretaría de Ambiente (2024). Primer Informe Bienal de Transparencia (IBT1) de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). https://unfccc.int/sites/default/files/resource/IBT1%20Argentina_2024.pdf

Trina Solar (2025). Hoja de datos panel fotovoltaico modelo Vertex S. https://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet_Vertex%20S+_NEG18R.28_ESP_2024_C_web.pdf

Turner, S. W. D., Voisin, N., Nelson, K., & Tidwell, V. (2022). Drought impacts on hydroelectric power generation in the western United States: A multiregional analysis of 21st century hydropower generation (PNNL-33212). Pacific Northwest National Laboratory. https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-33212.pdf

VESTAS (2025). Onshore Wind Turbines. <https://www.vestas.com/en/energy-solutions/onshore-wind-turbine>



Fundación Ambiente y Recursos Naturales

Tacuarí 32 - Piso 10 (C1173AAA) CABA - Argentina

www.farn.org.ar | info@farn.org.ar  /farnargentina