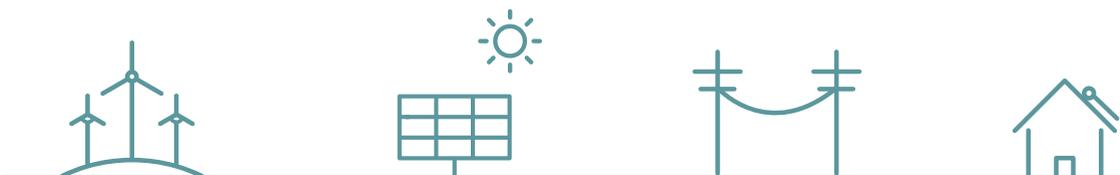


# PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ENERGÍA 2018-2023







# **PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ENERGÍA 2018-2023**

## **Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía**

Ministerio de Energía, Diciembre 2018

EQUIPO TÉCNICO

Ministerio de Energía.

Ministerio del Medio Ambiente.

Consortio EBP, Eridanus y Consensus Building institute (Chile).

Diseño y Diagramación:

Alterstudio

[www.alterstudio.cl](http://www.alterstudio.cl)

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGOS</b>	<b>6</b>
<b>I. CONTEXTO DEL PLAN DE ADAPTACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>II. ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>13</b>
2.1 Tendencias del cambio climático a nivel global	14
2.2 Tendencias observadas y proyectadas del clima en Chile	16
<b>III. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO DE CHILE</b>	<b>19</b>
3.1 Oferta de Energía	20
3.2 Transporte de Energía	22
3.3 Demanda de Energía	24
3.4 Tendencias para el sector energía en el largo plazo: Planificación Energética de Largo Plazo	26
<b>IV. IMPACTOS Y VULNERABILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>29</b>
4.1 Modelo conceptual de análisis	30
4.2 Impactos del cambio climático en el sector energético nacional	33
<b>V. COMPONENTES DEL PLAN</b>	<b>47</b>
5.1 Principios Orientadores	48
5.2 Objetivos	48
5.3 Estructura del Plan: Lineamientos de Acción y Medidas	49
5.4 Monitoreo y actualización	51
5.5 Financiamiento	51
<b>VI. FICHAS RESÚMENES DE LAS MEDIDAS</b>	<b>52</b>
<b>VII. ACRÓNIMOS</b>	<b>69</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>72</b>
<b>IX. ANEXO 1. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ENERGÉTICO NACIONAL</b>	<b>77</b>
9.1 Impactos sobre la Oferta de Energía	78
9.2 Impactos sobre el Transporte de Energía	96
9.3 Impactos sobre la Demanda de Energía (Uso Final)	99

# PRÓLOGO MINISTERIO DE ENERGÍA

El cambio climático es quizás el principal desafío de la humanidad y hoy tenemos la obligación ética de actuar rápido y eficazmente en pro de las futuras generaciones. Para avanzar en la transición energética y alcanzar el desarrollo sostenible debemos considerar sus efectos, especialmente aquellos relacionados al sector energía.

El foco de acción climática y de diseño de políticas públicas se ha concentrado mayormente en la responsabilidad del sector en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Son pocos los ejemplos de países que han optado por abordarlo desde la mirada complementaria de la adaptación. El presente Plan se suma a los instrumentos pioneros del sector energía. Es un avance en la meta de alcanzar un desarrollo energético bajo en emisiones y resiliente.

El sector energía representó en el 2016 el 78% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero del país. Por eso es necesario que los subsectores que lo componen se hagan responsables de abordarlas y además deben abrir el debate sobre los impactos del cambio climático e iniciar las acciones de prevención requeridas.

De acuerdo a la experiencia internacional y según análisis preliminares, los impactos se manifiestan desde la dotación de recursos energéticos, la infraestructura de generación, el transporte de energía y su uso final.

Además, enfrentamos mermas en la disponibilidad de agua para generación hidroeléctrica, afectación de las líneas de transmisión y de los sistemas de transporte de combustibles por fenómenos extremos como marejadas, inundaciones e incendios.

Conscientes de estos efectos y después de experimentar en el país estos fenómenos en los últimos años, es vital incentivar acciones que reduzcan nuestra vulnerabilidad. Necesitamos un sistema energético robusto, que gestione los riesgos y anticipe los efectos.

El presente Plan busca dar a conocer las medidas necesarias para fomentar una adaptación paulatina y efectiva. Creemos que el camino que hemos recorrido para llegar a este plan de trabajo facilitará su aplicación y al mismo tiempo, la disposición de recursos públicos, privados y de cooperación internacional para su financiamiento.

El plan fue elaborado en línea con la Política Energética Nacional, la Ruta Energética 2018-2022, las directrices de adaptación del Ministerio del Medio Ambiente, y el Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero del Sector Energía. Además de los tratados internacionales como el Acuerdo de París.

Agradezco a todos los que fueron parte de distintas instancias en la elaboración y publicación de este Plan: profesionales de los Ministerios de Agricultura, Desarrollo Social, Economía, Hacienda, Medio Ambiente, Minería, Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones, y Vivienda y Urbanismo; a representantes de la Academia y de la Sociedad Civil; a profesionales y directivos de la Asociación de Generadoras de Chile, de la Asociación Chilena de Energías Renovables, de Empresas Eléctricas AG, de la Confederación de la Producción y del Comercio, de la Sociedad de Fomento Fabril, de la Sociedad Nacional de Minería, y del Grupo de Líderes Empresariales Contra el Cambio Climático (CLG-Chile), así como de cada una de las empresas asociadas a dichos gremios.

También, quiero reconocer los aportes y participación de profesionales de las distintas divisiones del Ministerio de Energía, así como de nuestras Seremías.

Invitamos a abordar este desafío con optimismo, siendo parte activa de la implementación de este Plan y también de su revisión y actualización.

---

**Juan Carlos Jobet E.**  
Ministro de Energía

## PRÓLOGO MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

El cambio climático es una realidad hoy y debemos enfrentarlo a través de medidas concretas de mitigación y adaptación. Chile es particularmente vulnerable, en efecto cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad establecidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

El Estado de Chile ha trabajado sistemáticamente desde la creación del Ministerio del Medio Ambiente en el desarrollo de proyecciones climáticas y estudios de vulnerabilidad, realizados en conjunto con los diferentes sectores más afectables del país, para el desarrollo de planes de adaptación al cambio climático. El objetivo es prepararnos y ajustar nuestras actividades a las nuevas condiciones del clima, para evitar los daños ambientales, sociales y económicos que ya se observan, y los que se proyectan a futuro a causa de este fenómeno de escala global y local. La adaptación constituye un eje fundamental de la política de cambio climático y ha sido priorizada – al día de hoy – para nueve sectores del país por su vulnerabilidad e importancia estratégica, entre ellos el sector de la Energía, que mediante este Plan de Adaptación al Cambio Climático nos presenta los resultados de un trabajo de planificación concreta.

La adaptación al cambio climático es un proceso de aprendizaje continuo que busca, a través de la planificación, un desarrollo sustentable. Debe cumplir con una serie de atributos para que sea eficaz, como por ejemplo, basarse en el conocimiento científico, ser flexible, desarrollarse multisectorialmente y a diferentes escalas territoriales e incluir procesos participativos para considerar las necesidades y las expectativas de los actores involucrados y las comunidades.

Es por ello que durante el proceso de elaboración de un plan de adaptación, se van generando capacidades al interior de las instituciones, se intercambian experiencias de los diferentes sectores y se sensibiliza a los incumbentes y a la comunidad

en general, sobre el problema que se enfrenta por la crisis climática.

El presente Plan contribuirá en el cumplimiento de los compromisos de Chile ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Acuerdo de París y la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC). Además, forma parte del eje de adaptación del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II), con los objetivos de evitar daños en la infraestructura, en la generación, en la transmisión y en la distribución de energía, además de adecuarse a los cambios en la oferta y en la demanda que podrían ocurrir y aprovechar las oportunidades, si es que se presentasen. Además, fomenta el uso de energías limpias, la eficiencia energética y establece sinergias con las medidas de mitigación de emisiones del sector.

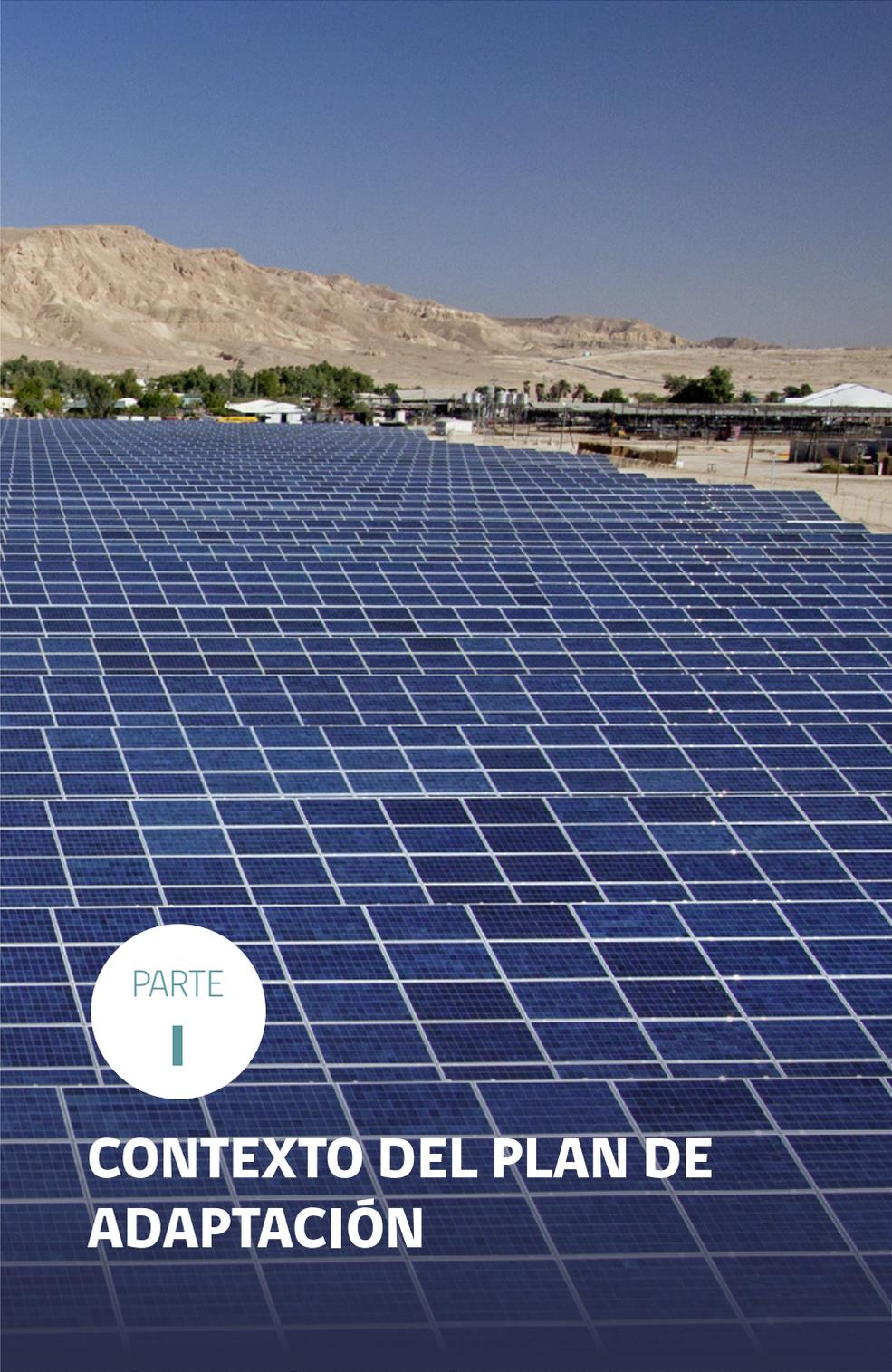
Se trata de un instrumento de política pública, fruto del trabajo colaborativo, que integra y orienta las acciones concretas y forma parte de los compromisos del programa de Gobierno del Presidente Sebastian Piñera.

Quiero felicitar al Ministerio de Energía por la coordinación conjunta con la Oficina de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente en la elaboración de dicho plan, y a los diez ministerios y otros servicios con competencias en materia de adaptación al cambio climático en el sector energía, por su colaboración.

La acción climática es una oportunidad para transitar hacia el desarrollo sustentable y con ello avanzar hacia una sociedad más inclusiva y responsable con el medio ambiente.

---

**Carolina Schmidt Z.**  
**Ministra del Medio Ambiente**



PARTE  
I

# CONTEXTO DEL PLAN DE ADAPTACIÓN

Chile es vulnerable al cambio climático de varias maneras. Si bien se proyecta que los impactos variarán en cada una de las regiones del país, en general la ciencia predice que se producirán más días cálidos y promedios más altos de temperatura, menos lluvias y sequías más frecuentes, especialmente en la zona centro-sur. También, se espera una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos.

Para el sector energía, una de las principales preocupaciones es la disminución de la disponibilidad de agua y las sequías. Esto restringiría la generación hidroeléctrica, la cual generó cerca de un cuarto de la electricidad en Chile en 2016. La severa sequía en 2007–2008 en la zona centro-sur del país afectó fuertemente la generación hidroeléctrica. Al mismo tiempo, la exportación de gas natural desde Argentina continuó a la baja, y como consecuencia, el suministro de energía en Chile enfrentó una crisis y los precios de la energía subieron a límites récord.

Adicionalmente, la Agencia Internacional de Energía listó los principales impactos del cambio climático sobre los sistemas de energía, de los cuáles para Chile son relevantes los siguientes:

- Los aumentos de temperatura del agua restringen la generación de energía térmica mediante la reducción de la eficiencia de enfriamiento de las plantas, con

el consiguiente aumento de la demanda de agua para enfriamiento.

- La escasez de agua restringe el uso de las tecnologías de concentración solar de potencia y de captura y almacenamiento de carbono.
- Las altas temperaturas aumentan las pérdidas de transmisión y reducen la eficiencia final en transmisión, y a su vez, reducen la viscosidad de los combustibles transportados.
- Los eventos extremos como inundaciones y deslizamientos, y la erosión, pueden dañar los ductos de transporte de combustibles.
- El aumento de la temperatura del aire aumenta la demanda de enfriamiento (mayoritariamente para electricidad) y reduce la demanda por calefacción (para combustibles y para electricidad).
- La demanda de energía cambia, dependiendo de la ubicación geográfica y del acceso a tecnologías energéticas, como aire acondicionado.

Estos y otros desafíos que representa el cambio climático para el sector energía fueron recogidos en la Política Energética Nacional (PEN), la cual definió la necesidad de contar con un plan de mitigación y un plan de adaptación para el sector, que coordinadamente diseñados y ejecutados, abordarán la reducción de las emisiones del sector, conjuntamente con la implementación de medidas para adaptar el sector a los impactos de

este fenómeno global. Es necesario enfatizar aquí que la construcción de la PEN se realizó bajo un amplio proceso participativo, a través del desarrollo de mesas de trabajo donde participaron expertos de distintos sectores económicos y de la sociedad civil y a través de una plataforma de participación virtual, la que permitió entregar públicamente el material generado durante todo el proceso y recibir opiniones de los ciudadanos.

La PEN se estructuró bajo cuatro pilares fundamentales, a saber: Pilar 1. Seguridad y Calidad de Suministro; Pilar 2. Energía como Motor de Desarrollo; Pilar 3. Energía Compatible con el Medio Ambiente y Pilar 4. Eficiencia y Educación Energética. En base a estos pilares se priorizaron lineamientos de acción y medidas concretas para el desarrollo del sector energético en el corto, mediano y largo plazo. Concretamente bajo el Pilar 3 y el lineamiento 26, se definió como una medida prioritaria la creación e implementación de un Plan de Adaptación al Cambio Climático para el sector energía con el fin de *promover medidas para abordar la variabilidad climática y los daños potenciales sobre la infraestructura energética*. Asimismo, las medidas del Plan están en consonancia con lo establecido en el Pilar 1 de Seguridad y Calidad del Suministro, que establece como meta al 2050 que el país cuente con un *sistema energético robusto y resiliente, que gestiona los riesgos, permitiéndole enfrentar y anticipar los efectos de crisis energéticas, catástrofes naturales, eventos climáticos y conflictos geopolíticos, entre otros desafíos*.

En consecuencia, el Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía se elaboró en respuesta a los objetivos y metas establecidas en la Política Energética Nacional en materia de

cambio climático y adaptación, y a su vez está en línea con el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC II) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del 2014.

Cabe enfatizar aquí la coherencia y sinergia de este plan de adaptación con las medidas de mitigación propuestas para el sector energía en su plan correspondiente. Así por ejemplo, la necesidad de diversificar las fuentes energéticas producto del cambio climático no sólo hará al sector más resiliente y preparado para tener una matriz energética más sustentable, sino que ésta será más baja en emisiones. Asimismo, las medidas que este plan promueve en relación a un manejo de la demanda por posibles aumentos de ésta debido al cambio climático, también podrían significar un efecto positivo en la reducción de emisiones, toda vez que se intensifica la aplicación de medidas de eficiencia energética en distintos sectores productivos y de servicios en el país.

Por otro lado, se hace hincapié en que este plan debe operar e implementarse en consonancia con otros planes sectoriales de adaptación y con políticas y programas que atañen al sector energía. Además, debe fomentar un trabajo público-privado a objeto de rescatar la experiencia que ha tenido en particular el sector privado energético chileno en la aplicación de medidas de adaptación al cambio climático, y de definir conjuntamente acciones e instrumentos de fomento para implementar las acciones que promueve este Plan de Adaptación. Para ello, este Plan contempla la necesidad de conformar alianzas-público-privadas con este fin.

### **Elaboración del Plan de Adaptación**

El Ministerio de Energía, con el apoyo del Ministerio del Medio Ambiente, condujo durante el 2017 un estudio denominado "Elaboración del Borrador del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía", para lo cual contrató a un equipo conformado por consultores nacionales e internacionales (EBP *et al*, 2018).

Este estudio tuvo como objetivo la identificación de los impactos del cambio climático en el sector energía, tomando en cuenta la información técnica existente tanto a nivel nacional (basada en referencias nacionales de estudios oficiales de instituciones públicas, universidades o centros de investigación) e internacional, junto con la revisión de las medidas de adaptación que se están implementando a nivel internacional en el sector energía. El estudio, además, consideró la opinión de expertos del área energética y de cambio climático provenientes de empresas privadas, entidades públicas, academia, y organizaciones de la sociedad civil, para lo cual se desarrollaron entrevistas y se organizaron talleres en las ciudades de Antofagasta, Concepción y Santiago, cuyo fin fue obtener información de los impactos en el sector energía evidenciados y priorizados en estas zonas del país y la identificación y priorización de posibles medidas de adaptación.

A partir de la información de este estudio se desarrolló el Anteproyecto

del presente Plan, el cual fue puesto en consulta pública entre el 21 de noviembre y el 21 de diciembre de 2017, recibiendo más de 147 comentarios que sirvieron como insumo para la elaboración de este primer Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector de Energía, cuyo fin es sentar las bases para la adaptación del sector a los impactos del cambio climático previstos para el país, contribuyendo de esta manera al logro de las metas propuestas en la PEN.

### **Relevancia del Plan de Adaptación para el Sector Energía**

Si bien el foco de atención en el vínculo entre cambio climático y energía, tanto a nivel global como más local, ha estado centrado en la mitigación (reducción) de las emisiones de gases de efecto invernadero, la adaptación<sup>1</sup> está cobrando cada vez mayor relevancia y se avanza desde una etapa de sensibilización a una orientada a la acción, mediante el desarrollo de estrategias nacionales y locales.

En el mundo, la importancia de avanzar hacia la adaptación en el sector energía no sólo es de interés de la comunidad científica y académica, sino que está crecientemente permeando la esfera de acción en los niveles nacionales, mediante la elaboración de planes de adaptación al cambio climático en el sector energía. Así, por ejemplo, destaca el caso de España con su Informe de Adaptación al Cambio Climático

---

1. El IPCC define la adaptación al cambio climático como el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En la práctica, ello implica un análisis de vulnerabilidad frente a los impactos generados por el cambio climático y la posterior identificación de medidas de adaptación con el objeto de reducir la vulnerabilidad y aprovechar posibles oportunidades.

del Sector Energético Español, del año 2015 (Girardi *et al*, 2015), como también los planes de adaptación del sector energía de Austria y Suiza. Este último está bajo una ley para una estrategia de adaptación al cambio climático impulsada por el Consejo Federal de Suiza. En ambos, la necesidad de reducir la demanda futura de energía, los impactos en termoelectricidad y la preocupación por la disponibilidad hídrica, forman parte del foco de actividades planificadas.

En el caso de Chile, ya en el año 2008 el sector energía fue priorizado como uno de los sectores vulnerables del país que debían elaborar planes de Adaptación al cambio climático, como se consigna en el primer Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. Actualmente, el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022, es el instrumento articulador de la política pública en materia de cambio climático en Chile, el cual establece como uno de sus ejes de acción principales la adaptación al cambio climático.

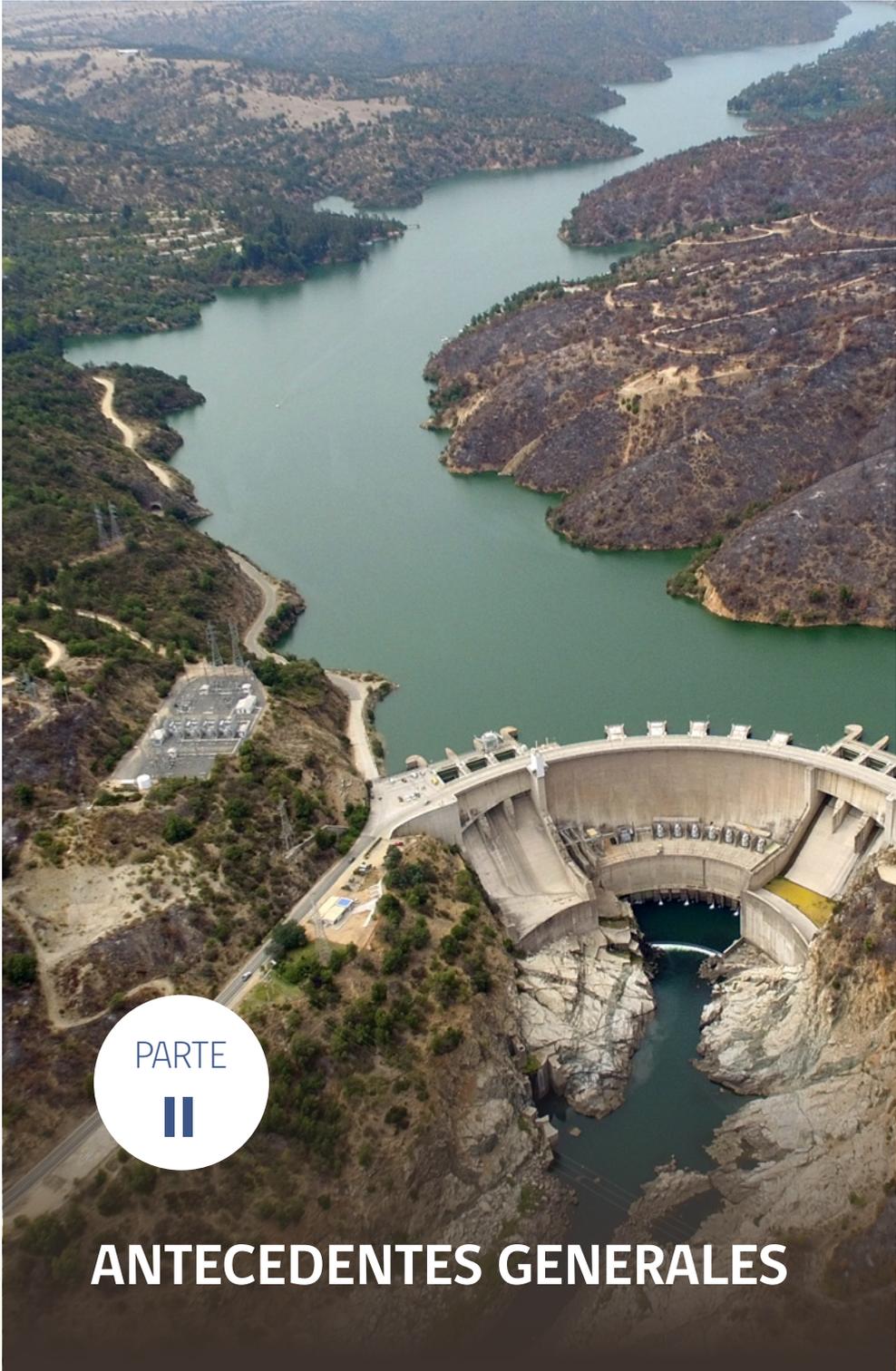
Junto con ello, en los últimos cuatro años se ha avanzado hacia una estrategia de adaptación-país que se ejecuta a través de planes de adaptación en sectores prioritarios - Recursos Hídricos, Biodiversidad, Silvoagropecuaria, Pesca y Acuicultura, Energía, Ciudades, Salud, Infraestructura, Turismo y Zonas Costeras - de los cuales cuatro ya se encuentran en implementación y cinco se encuentran en distintos niveles de desarrollo. Estos se coordinan en consistencia con la estructura operativa del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de 2014 (MMA, 2014b). A su vez el Plan se corresponde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como con la Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres

y la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV).

La Política Energética Nacional al 2050 es también coherente al establecer el compromiso para el sector energía de avanzar, antes del año 2018, en su Plan de Adaptación. Asimismo, en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) de Chile para el Acuerdo Climático de París de 2015, el Gobierno de Chile se comprometió a *implementar acciones concretas de adaptación, a través de sus planes de adaptación sectoriales, integrando distintos niveles de la administración pública; a identificar fuentes de financiamiento para apoyar la adaptación; a buscar sinergias con mitigación; a fortalecer el marco institucional, y a desarrollar métricas para la evaluación de adaptación y vulnerabilidad.*

### **Capítulos del Plan**

En los capítulos siguientes del Plan se entrega información general sobre las tendencias del clima a nivel global y en Chile en cuanto a temperatura, precipitación y eventos extremos, bajo los escenarios futuros de concentración de emisiones establecidos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), y se realiza una caracterización del sector energético según oferta energética, transporte (electricidad y combustibles) y demanda, para posteriormente detallar su vulnerabilidad y los impactos al cambio climático. Luego se realiza una descripción de los principios, objetivos y líneas de acción, así como de las medidas seleccionadas, las cuales son prioritarias para sentar las bases de la adaptación del sector energético en Chile. Finalmente, se establece la periodicidad del monitoreo y de la actualización del Plan.



PARTE



# ANTECEDENTES GENERALES

## 2.1. TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL GLOBAL

En las últimas tres décadas, el cambio climático se ha ido relevando crecientemente como uno de los grandes desafíos a nivel global. Actualmente, los impactos del cambio climático ya se pueden observar en forma importante en todo el mundo, donde América Latina, y Chile en particular, se encuentran entre las zonas más afectadas.

La evidencia científica indica que el calentamiento de la tierra es inequívoco y que desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios (IPCC, 2014). El incremento de temperatura global presenta anomalías sobre los 0,5°C en la superficie de la tierra y sobre 0,3°C en la superficie del océano, respecto a la época pre-industrial. Además, las tendencias de cambio en precipitaciones se acentuaron en los últimos 60 años a nivel global.

Según el Quinto Informe (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

(IPCC), los diferentes escenarios de proyección de temperatura en base a los Escenarios de Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)<sup>2</sup>, prevén un aumento de la temperatura promedio entre  $\pm 1^\circ\text{C}$  hasta  $\pm 4^\circ\text{C}$  hacia el fin del siglo (ver Tabla 1). Estas trayectorias se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2.6 y 8.5 W/m<sup>2</sup>, por tanto, la adaptación a estos cambios va tomando cada vez más importancia, llegando a ser un tema central en los esfuerzos internacionales.

Las tendencias futuras descritas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, indican que se acentuará el contraste en las precipitaciones entre regiones húmedas y secas y entre estaciones, no obstante, podrán haber excepciones regionales. Los océanos mundiales seguirán calentándose y el volumen global de los glaciares continuará reduciéndose durante el siglo XXI, con un impacto

---

2. Los escenarios RCP (Representative concentration pathway scenarios) son una actualización de los escenarios de las posibles trayectorias evolutivas de concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas se ordenan de acuerdo a un determinado "forzamiento radiativo" (radiative forcing) que generarán al 2100, relativo al tiempo preindustrial. Este forzamiento radiativo se mide en Watts/m<sup>2</sup> y se refiere a la energía térmica solar que será absorbida por la tropósfera. Según este concepto, el IPCC trabaja con 4 escenarios RCP, con fuerzas radiativas de 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 Watts/m<sup>2</sup>. Así, el de menos forzamiento radiativo (i.e., 2.6 Watts/m<sup>2</sup>) generaría un aumento promedio de temperatura de 1°C al año 2100, mientras que el de mayor forzamiento (i.e. 8.5 Watts/m<sup>2</sup>) daría como resultado un aumento promedio cercano a los 4°C.

en el aumento del nivel medio del mar (NMM), el cual a nivel mundial se elevó 0,19 metros durante el período 1901-2010, y se espera que aumente entre 0,26 y 0,82 metros

entre 2081 y 2100. Estas tendencias esperadas tienen el potencial de provocar cambios irreversibles, con implicancias en todo el sistema terrestre (IPCC, 2014).

**TABLA 1.** Cambios proyectados de la temperatura superficial global según los escenarios RCP

Escenario RCP				Cambios proyectados de la temperatura			
Escenario	FR	Tendencia del FR	Concen-tración CO <sub>2</sub> en 2100	2046-2065		2081-2100	
				Promedio	Rango más probable	Promedio	Rango más probable
			ppm	°C	°C	°C	°C
<b>RPC 2.6</b>	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100	421	1	0,4 a 1,6	1	0,3 a 1,7
<b>RPC 4.5</b>	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100	538	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
<b>RPC 6.0</b>	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670	1,4	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
<b>RPC 8.5</b>	8,5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936	1,2	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

Fuente: Adaptado del 5º Informe IPCC, 2014.

## 2.2 TENDENCIAS OBSERVADAS Y PROYECTADAS DEL CLIMA EN CHILE

Diversos estudios realizados a nivel internacional y nacional indican que Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático. La Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (MMA, 2016) indica que las proyecciones para Chile apuntan hacia aumentos en temperatura, menores precipitaciones e incremento en la frecuencia de eventos extremos tales como sequías e inundaciones. A continuación, se describen algunos resultados de los estudios y modelaciones climáticas que se han realizado para Chile.

### **Temperatura**

En Chile, las tendencias observadas en las temperaturas medias hasta el año 2010, exhiben desde Arica hasta Concepción un patrón de enfriamiento en las costas y de calentamiento en el interior (valle central) y en los Andes, como principal tendencia (MMA, 2016; IPCC, 2014; DMC, 2014) y en general, se proyecta un aumento de temperatura en todo el territorio nacional, con un gradiente de mayor a menor de norte a sur y de cordillera a océano, esperando que el mayor calentamiento se perciba en la zona norte grande y en altura, sobre la cordillera de los Andes (Rojas, 2012; Ministerio de Energía, 2016b).

En cuanto a precipitaciones anuales, la tendencia varía dependiendo de la región y del período considerado. En la zona norte y la zona central, durante el siglo XX, las precipitaciones

muestran una importante variabilidad interdecadal, mientras que en la zona sur se ha manifestado una tendencia a la disminución (MMA, 2016; Boisier *et al* 2016; DMC, 2014). La zona semiárida se ha caracterizado por sucesiones de años lluviosos y sequías multianuales y, según el estudio de cuencas del Ministerio de Energía (2016a), para las cuencas de la zona centro y sur, se prevén aumentos de temperatura para el corto, mediano y largo plazo.

### **Precipitaciones**

Las simulaciones de precipitaciones muestran disminución entre 5-15% desde la cuenca del río Copiapó en el norte y la cuenca del río Aysén en el sur, para el periodo 2011-2030. En la zona ubicada entre las cuencas de los ríos Mataquito y Aysén, las precipitaciones muestran una señal robusta de disminución para dicho período, en tanto que en la zona de Magallanes se proyecta un leve aumento, aunque con una menor precipitación nival. Respecto el período 2031-2050, las proyecciones de temperatura y precipitación muestran tendencias similares al período más cercano, pero con valores mayores (Rojas, 2012; Ministerio de Energía, 2016b).

Como consecuencia, para las cuencas del Maule, Biobío y Toltén, en todos los escenarios analizados, se esperan reducciones en la generación de energía que van desde un 3,8% de reducción de la capacidad de generación de energía hidroeléctrica

(en la cuenca del Toltén bajo el escenario RCP2.6, para el período 2040-2070) hasta un 28% en la cuenca del Maule (escenario pesimista RCP8.5 para el período 2070-2100). Para las cuencas de la zona sur, se proyectaron reducciones de entre un 2% y un 3% en el escenario a corto plazo, y de hasta 22% en algunas cuencas en el largo plazo (cuenas de los ríos Bueno y Puelo, ambas en el escenario pesimista RCP8.5). En general, las reducciones que se proyectan van disminuyendo conforme se avanza hacia el sur, pero van aumentando a medida que se avanza a períodos de tiempo más lejanos y los efectos esperados sobre el caudal (y por tanto, sobre la potencia generable), son más notorios en los escenarios

de cambio más severos o escenarios pesimistas (RCP8.5 y RCP6.0).

La Tercera Comunicación Nacional resalta los resultados del reciente estudio de impactos a nivel comunal al 2050 (MMA, 2016). En la Tabla 2 se presenta una síntesis de cambios estimados<sup>3</sup> de temperaturas y precipitaciones en 15 capitales regionales de Chile, lo cual permite observar, de forma general, las tendencias esperadas para todo Chile. En el caso de las precipitaciones, en el norte hasta Copiapó, no se esperan variaciones, mientras que hacia el sur se esperan descensos cada vez mayores, situación que tiende a revertirse hacia la zona austral del país (al sur de Puerto Montt). Aunque los

**TABLA 2.** Síntesis de riesgos de impactos de los eventos climáticos y cambios en temperatura y precipitación al 2050 para 15 capitales regionales de Chile considerando el escenario RCP8.5

Ciudad	Cambios de temperatura al 2050				Cambios en precipitación al 2050	
	estival	estival	invernal	invernal	(mm)	(%)
	(°C)	(%)	(°C)	(%)		
Arica	2,2	11	2,5	17	0	0
Iquique	2,1	10	2,4	16	0	0
Antofagasta	2,1	10	2,2	16	0	0
Copiapó	2,2	11	2,2	21	0	0
La Serena	1,9	11	1,8	17	-10	-13
Valparaíso	1,9	11	1,6	15	-68	-17
Santiago	2,7	14	1,7	19	-51	-15
Rancagua	2,2	11	1,7	19	-82	-15
Talca	2,1	11	1,5	18	-132	-16
Concepción	1,7	10	1,3	14	-150	-15
Temuco	1,9	12	1,2	16	-192	-15
Valdivia	1,6	10	1,1	14	-231	-13
Puerto Montt	1,7	12	1,2	18	-229	-12
Coyhaique	1,6	15	1,5	79	-85	-7
Punta Arenas	0,9	11	1,5	94	92	4

Fuente: MMA, 2016.

3. Los cambios indican las diferencias de los valores respecto a la línea base 1980-2011. (Fuente: MMA, 2016)

cambios en precipitación total son con tendencia a la disminución, se presentarán cada vez con más frecuencia en períodos cortos y en presencia de mayor temperatura, conllevando impactos severos sobre el sistema energético, como se desprende del capítulo IV sobre impactos y vulnerabilidad del sistema energético nacional.

### **Eventos extremos**

Chile ha estado presenciando fenómenos extremos en los últimos años, como son sequías, inundaciones, aluviones, marejadas, temperaturas extremas, olas de calor e incendios forestales, entre otros. El índice de eventos extremos revela un aumento de las noches cálidas desde el Norte Grande a Coyhaique, con disminución de las noches frías pero con un aumento de olas de calor. Se proyectan marcados eventos de sequía, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI, destacándose la megasequía, definida así por tanto su prolongación temporal (2010 hasta la fecha) así como territorial, abarcando desde Coquimbo hasta la Araucanía (CR2, 2015).

Para fines del siglo XXI, eventos climáticos extremos asociados a precipitación, ocurrirían más de 10 veces en 30 años. El número de eventos de precipitación extrema tiende a decrecer, no obstante, aumenta la ocurrencia de éstos en presencia de temperaturas elevadas, con el consecuente riesgo de elevación de la isoterma 0°C, inundaciones, crecidas y aluviones (Rojas, 2012).

### **Aumento del nivel medio del mar**

En Chile, la variación relativa del nivel medio del mar (NMM) respecto del suelo marino, está condicionada por la actividad sísmica en la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana.

Un análisis de los registros de hasta 60 años de extensión en mareógrafos de la red nacional del SHOA, indica que las tasas de cambio del NMM difieren significativamente a lo largo del país (MMA, 2016). En la zona norte, el NMM está disminuyendo a tasas de hasta -1,4 mm/año (Arica), mientras que en la zona central y sur aumenta hasta en 2,2 mm/año (Puerto Williams). El lugar con mayor tasa de aumento del NMM es Isla de Pascua, con 3,2 mm/año (MMA, 2016).



PARTE



# CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO DE CHILE

Para obtener una comprensión más amplia del sector y de la infraestructura que está expuesta a los cambios experimentados y esperados del clima, las siguientes secciones caracterizan la matriz energética chilena en su cadena de suministro completa, desde la oferta (matriz primaria de energía), el proceso de transformación o generación, el transporte de energía, hasta el consumo final (matriz secundaria de energía<sup>4</sup>).

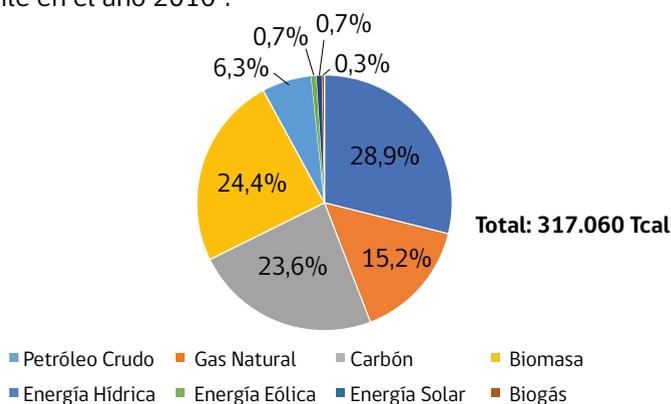
### 3.1. OFERTA ENERGÉTICA

#### **Recursos energéticos: matriz primaria**

La matriz de energía primaria representa el aprovisionamiento energético del país, considerando la producción de recursos energéticos de Chile y los flujos de importación y exportación. Así, durante el año 2016, el principal aporte provino de los combustibles fósiles (petróleo crudo, gas natural

y carbón) sumando casi un 68% y cuya provisión depende en un 97,7% de importación. Por otro lado, la producción de biomasa representa un poco más del 24%, y en menor proporción están los recursos energéticos para la generación hidroeléctrica, solar y eólica con un total de 8%. La Figura 1 presenta gráficamente la composición de la matriz primaria de energía al año 2016.

**FIGURA 1.** Total nacional y porcentaje de los recursos energéticos en Chile en el año 2016<sup>5</sup>.



4. Se utiliza la definición de la matriz secundaria indicada en la Política Energética Nacional 2050 (PEN) (Ministerio de Energía, 2015), donde se indica que ésta muestra la participación que tienen los energéticos en el consumo final de energía.

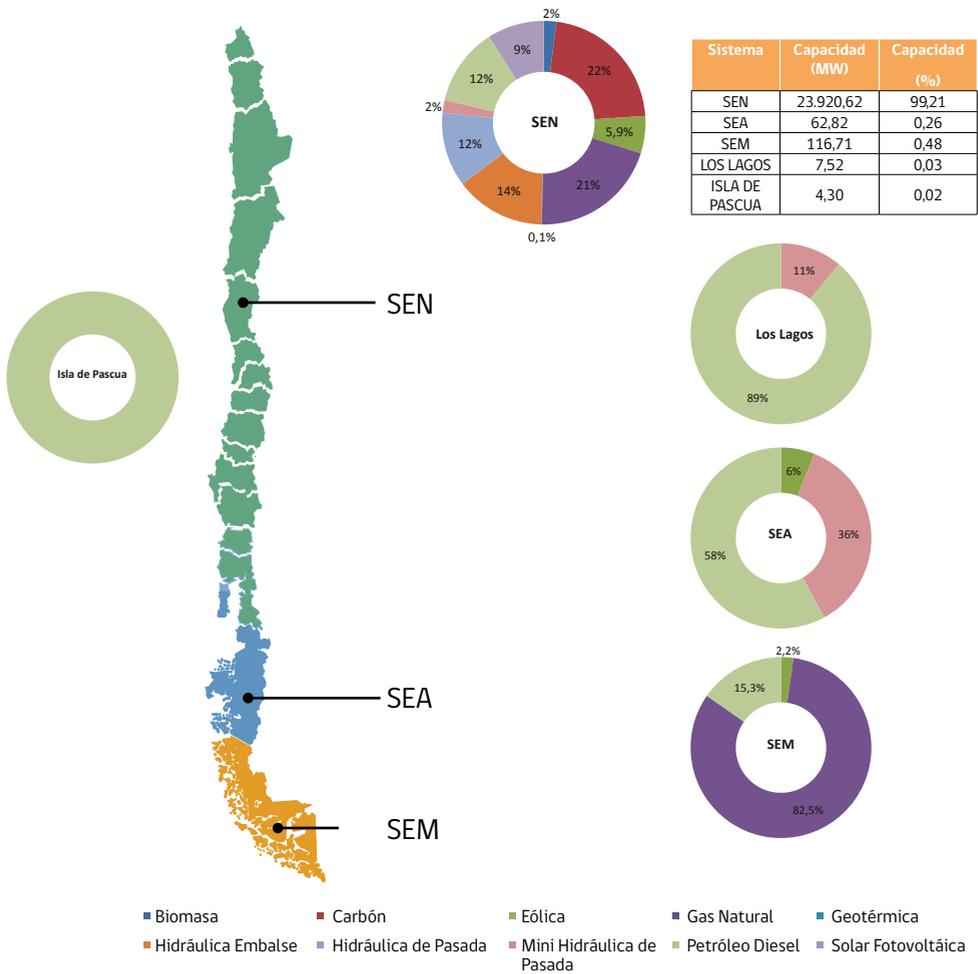
5. Datos actualizados a Febrero del 2018.

### Generación eléctrica

Respecto al sector eléctrico, hasta Noviembre de 2017 existían seis sistemas interconectados en Chile: Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) que abarcaba las regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá y Antofagasta; el Sistema Interconectado Central (SIC), que se extendía desde la rada de Paposo por el norte hasta la isla de Chiloé por el sur; el Sistema Eléctrico de Aysén

(SEA); Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM), el Sistema de Los Lagos y el Sistema de Isla de Pascua. A fines del 2017 los sistemas SIC y SING se interconectaron entre sí, a través de una línea de transmisión que une las subestaciones Los Changos (en el SING) y Cardones (en el SIC), formando el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). La Figura 2 presenta la distribución territorial de los sistemas y sus respectivas capacidades instaladas a Febrero de 2017.

**FIGURA 2.** Capacidad instalada en los sistemas de generación de electricidad en Chile<sup>6</sup>



6. Datos actualizados a Febrero de 2018.

## 3.2. TRANSPORTE DE ENERGÍA

El transporte de energía se divide en transporte de electricidad y transporte de combustibles fósiles.

### **Infraestructura eléctrica**

La transmisión de electricidad corresponde principalmente a subestaciones eléctricas y líneas de transmisión nacionales, zonales y dedicadas. El sistema de transmisión de electricidad, en su totalidad, suma más de 31.000 km y posee 895 subestaciones eléctricas (ver Tabla 3).

La distribución de alta, media y baja tensión de suministro eléctrico, va desde la subestación hasta los usuarios finales. Se caracteriza por una serie de elementos de infraestructura, como son las subestaciones primarias de distribución, alimentadores, los empalmes, postes, transformadores, y redes de cables. Todos ellos permiten llegar con el suministro a los puntos de consumo en las zonas industriales, urbanas y rurales abastecidas, y que también se pueden ver afectados por el cambio climático, toda vez que están expuestos a aluviones, inundaciones, marejadas, entre otros eventos extremos y cambios en variables hidrometeorológicas.

### **Infraestructura asociada a hidrocarburos**

El sector de hidrocarburos en el país está principalmente compuesto

por la importación de petróleo y refinación del petróleo crudo, realizada exclusivamente por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), importación de gas natural licuado (GNL) y su regasificación, además del almacenamiento, transporte y distribución de los combustibles (mayorista y minorista).

La infraestructura de refinación de petróleo incluye un principal polo de producción en Magallanes, un polo de refinamiento en Concón y un terminal en Quintero, que es punto de abastecimiento de crudo importado en la Región de Valparaíso. Adicionalmente, existe infraestructura de procesamiento de productos intermedios, mejoramiento de la calidad de los productos, plantas de tratamientos, terminales marítimos para la recepción de petróleo crudo y la entrega de productos y otras instalaciones industriales. Además, cuenta con estanques para el almacenamiento y entrega de productos ubicados en Maipú, San Fernando y Linares.

En cuanto a los combustibles derivados del petróleo (productos refinados), éstos son transportados a los clientes mayoristas a través de oleoductos, barcos y camiones. Existen 29 terminales marítimos para estos fines y 33 tramos de oleoductos, que alcanzan una longitud total de 1.735,1 km (ver Tabla 3).

Otro componente importante del sector de hidrocarburos, es la importación de Gas Natural Licuado (GNL), que ha requerido la instalación de gasoductos provenientes de Argentina (en la Región de Magallanes); terminales marítimas de Quintero (Región de Valparaíso) y Mejillones (Región de Antofagasta), y las plantas para regasificarlo. El transporte del GNL regasificado se hace a través de gasoductos. Actualmente existen 56 tramos

de gasoducto en el país concentrados en la zona central, Región de Magallanes y Región de Antofagasta, con una extensión total de 2.594,4 km.

El almacenamiento de combustibles, tanto de gas regasificado como de petróleo refinado, cuenta con varios otros actores en el país, con un total de 71 plantas de almacenamiento y 46 plantas de regasificación, distribuidos regionalmente, como se indica en la Tabla 3.

**TABLA 3.** Infraestructura del sistema de transporte de energía por región, en número de instalaciones

Región	Transporte de Energía					
	Sub - estaciones eléctricas	Infraestructura asociada a combustibles				
		Plantas de Almacen.	Tramos de Gasoductos	Tramos de Oleoductos	Terminales Marítimos	Plantas de Regasificación
<b>Arica y Parinacota</b>	15	3			2	
<b>Tarapacá</b>	37	5			2	
<b>Antofagasta</b>	119	6	11		3	
<b>Atacama</b>	59	2			4	
<b>Coquimbo</b>	32	5			1	2
<b>Valparaíso</b>	95	9	3	15	9	2
<b>Metropolitana</b>	154	8	6	2		18
<b>O'Higgins</b>	57	3	2			8
<b>Maule</b>	59	3		1		4
<b>Biobío</b>	157	11	23	4	3	5
<b>La Araucanía</b>	26	2				2
<b>Los Ríos</b>	18					1
<b>Los Lagos</b>	39	5			1	4
<b>Aysén</b>	23	5			1	
<b>Magallanes y Antártica</b>	5	4	11	11	3	
<b>TOTALES</b>	<b>895</b>	<b>71</b>	<b>56</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	<b>46</b>

Fuente: EBP *et al*, 2018<sup>7</sup>

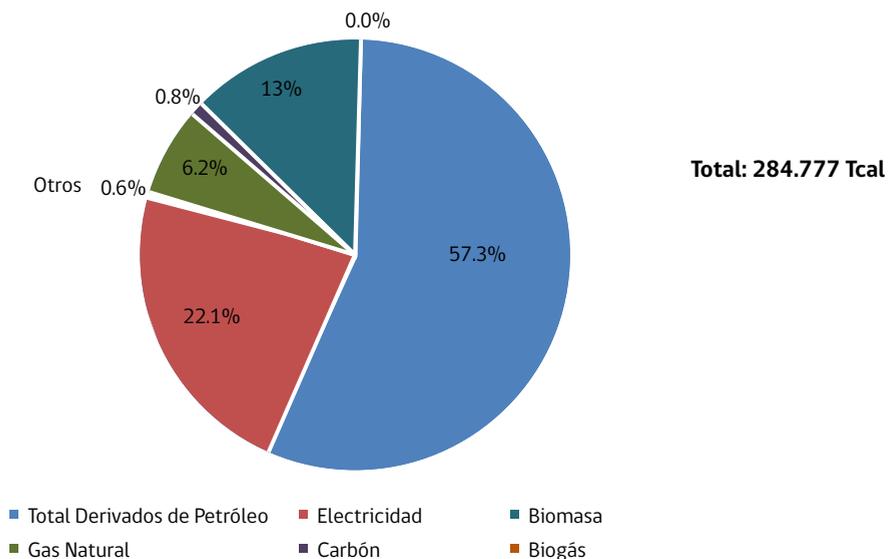
7. Elaborado a partir de las bases de datos de IDE Energía de diciembre de 2016.

### 3.3. DEMANDA DE ENERGÍA

La matriz de consumo final de energía (o matriz secundaria) del balance nacional de energía, muestra la estructura del consumo final de energía por tipo de fuente, que en el año 2016 alcanzó un valor total de 284.777 Tcal,

compuesta por los combustibles derivados del Petróleo (57%), Electricidad (22%), Biomasa (13%), Gas Natural (6%) y Carbón (1%). La Figura 3 presenta gráficamente la composición de la matriz secundaria al año 2016.

**FIGURA 3.** Consumo final en Chile (matriz secundaria) por tipo de fuente al año 2016.



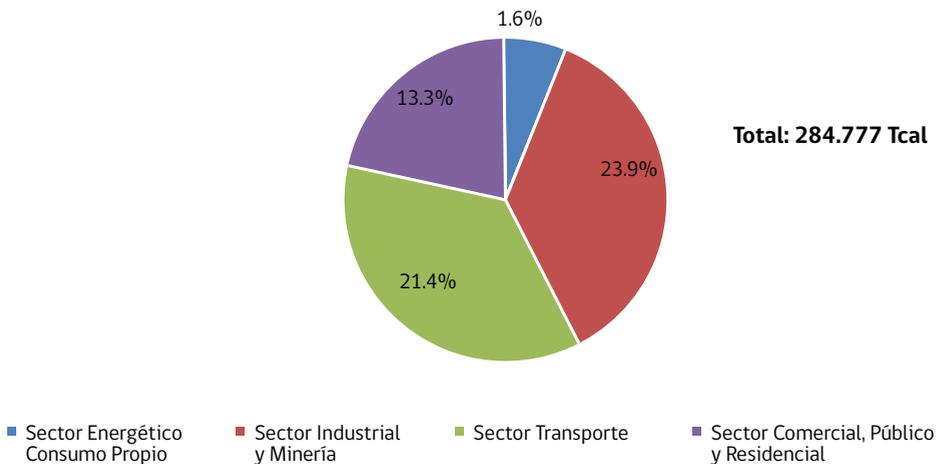
Fuente: Balance Nacional de Energía<sup>8</sup>.

8. Datos actualizados a Febrero del 2018.

Además de las fuentes de energía primaria y del tipo de energía secundaria consumida en Chile, resulta de interés conocer los sectores productivos que representan los principales consumos de energía en el país y sus patrones de consumo, frente a potenciales cambios del clima.

Los sectores que más demandaron energía en el año 2016 fueron Industria y Minería (24%), seguido por Transporte (21%), y Consumo Comercial, Público y Residencial (13%). El 2% restante se atribuye al sector energético (consumo propio) e industrial (consumo no energético) (ver Figura 4).

**FIGURA 4.** Total del consumo final y porcentaje en Chile en el año 2016 (matriz secundaria) por sector económico



Fuente: Balance Nacional de Energía<sup>9</sup>.

9. Datos actualizados a Febrero del 2018.

### 3.4. TENDENCIAS PARA EL SECTOR ENERGÍA EN EL LARGO PLAZO: PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LARGO PLAZO

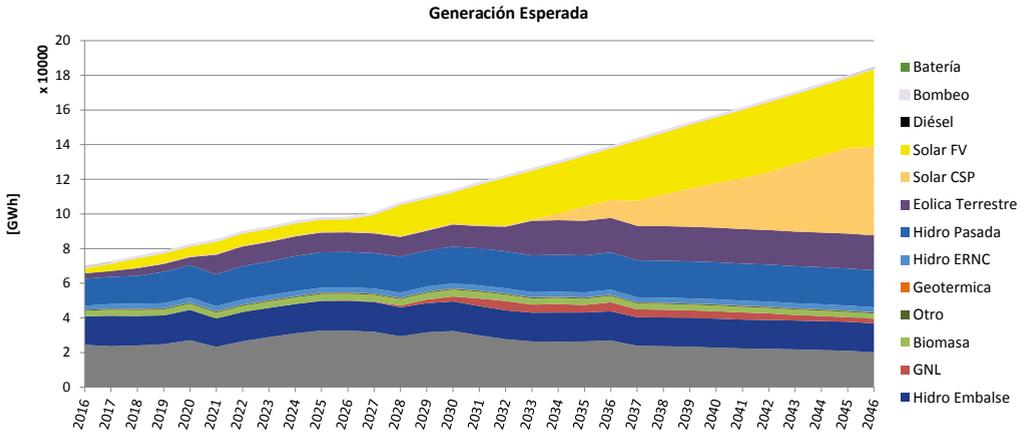
Conforme a lo dispuesto en el artículo 83° de la Ley General de Servicios Eléctricos, modificado por la Ley N° 20.936, el Ministerio de Energía deberá desarrollar cada cinco años un proceso de Planificación Energética de Largo Plazo (PELP) para los distintos escenarios energéticos de expansión de la generación y del consumo, en un horizonte de al menos treinta años, de modo que estos escenarios sean considerados en la planificación de los sistemas de transmisión eléctrica que lleva a cabo la Comisión Nacional de Energía (CNE), según indica la misma Ley.

Actualmente, el Ministerio de Energía concluyó el primer proceso de planificación de largo plazo y en su informe final proyectó cinco escenarios energéticos futuros plausibles para el sector. En este sentido, se espera una

participación predominante de energías renovables que va del orden de 60% en todos los escenarios en el 2020, llegando a un rango de entre un 70% y un 90% al 2046, dependiendo del escenario. En cuatro de los cinco escenarios se cumple con la meta de la PEN de participación de las energías renovables en el sistema, correspondiente al 60% al año 2035 y 70% al 2050 y en uno de ellos se exceden las metas.

A modo de referencia, la Figura 5 presenta el escenario B, que representa al de mayor penetración de energías renovables. Se aprecia que a futuro es plausible que la energía solar de concentración (CSP), solar fotovoltaica (FV), eólica e hidroeléctrica, sean parte importante de la matriz de generación, desplazando la participación de derivados del petróleo.

**FIGURA 5.** Generación eléctrica esperada por tecnología, Escenario B.

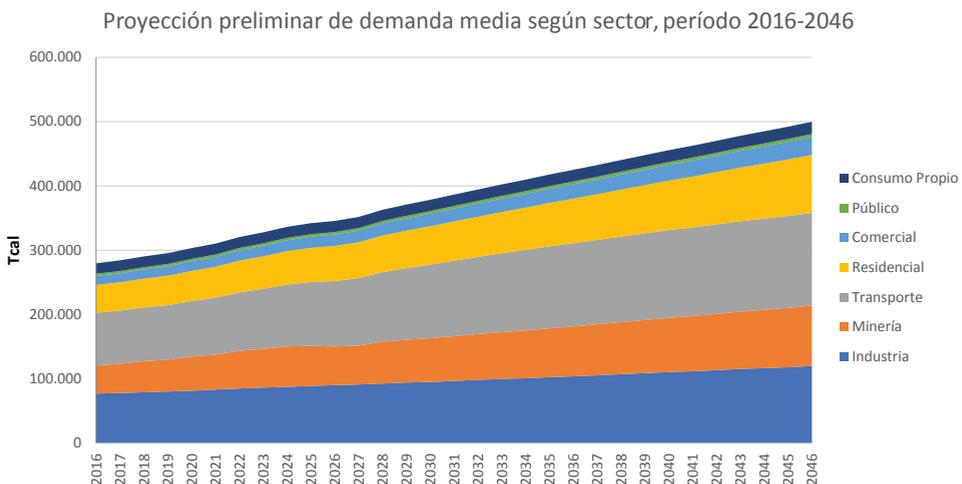


Fuente: Ministerio de Energía, 2017a

En cuanto a las proyecciones de demanda, el proceso de planificación energética de largo plazo estima proyecciones de demanda baja, media y alta. En la Figura 6 se presentan los resultados preliminares de la proyección de demanda media para un escenario, donde se aprecia un aumento del 113% de la demanda total al año 2046 respecto del 2016.

La participación relativa de los sectores no cambia significativamente en el tiempo para este escenario, con una leve reducción de participación en el consumo de los sectores de industria y minería, y un leve aumento en el consumo del sector transporte.

**FIGURA 6.** Proyección preliminar de demanda media según sector, período 2016-2046.



Cabe señalar que en el proceso de desarrollo de la Planificación Energética de Largo Plazo se consideró el cambio climático como un análisis de sensibilidad, tanto en oferta como en demanda, al replicar series hidrológicas históricas como escenarios futuros. Así, desde la oferta, se incluye el cambio climático al reducir el número de hidrologías históricas empleadas para la construcción de los perfiles de generación hidráulica que utiliza el modelo de planificación eléctrica. Para ello, se pasa de la serie de 56 años hidrológicos (serie 1960-2015) a una de 31 años (serie 1985-2015), buscando representar el fenómeno

de la historia hídrica más reciente, producto del cambio climático. Aun así se estima necesario realizar nuevos análisis, contemplando los escenarios hipotéticos RCP citados anteriormente.

En segundo lugar, desde la demanda, se consideró en el escenario de demanda eléctrica alta, un aumento en la penetración de aires acondicionados. En este caso, se consideró que al año 2046 se alcanzará cerca de un 50% de penetración de su uso en el país, tanto en casas como en departamentos.



PARTE  
**IV**

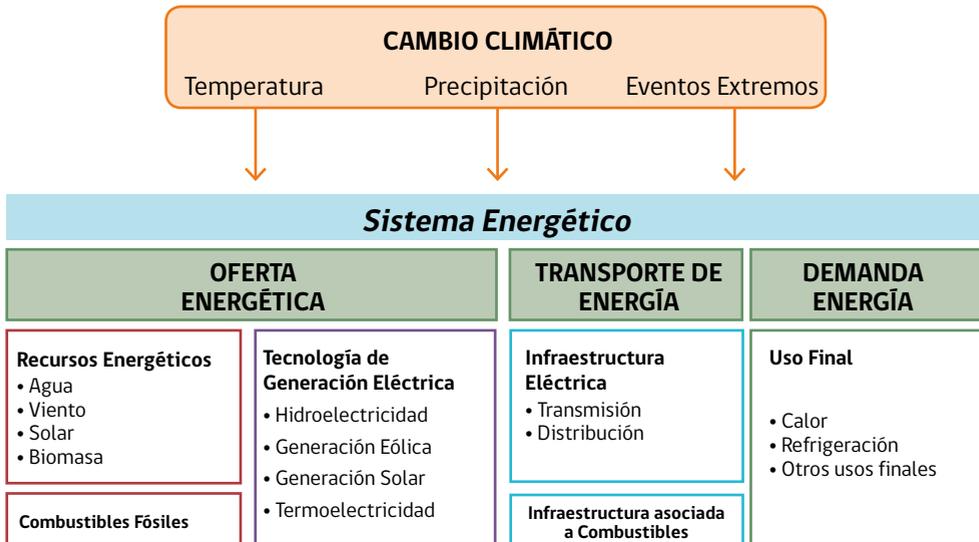
**IMPACTOS Y VULNERABILIDAD  
DEL SECTOR ENERGÉTICO  
FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

## 4.1. MODELO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS

Para desarrollar el análisis de los impactos en el sector energía nacional y priorizar las medidas de adaptación del plan, se elaboró un modelo conceptual de análisis basado en las características del sector energético nacional descritas en el capítulo anterior y en la experiencia internacional,

principalmente en el modelo de análisis propuesto en el Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español elaborado para la Oficina Española de Cambio Climático (Girardi *et al*, 2015) además de otros reportes internacionales<sup>10</sup>. Este modelo conceptual se presenta en la siguiente figura.

**FIGURA 7.** Modelo conceptual del impacto del cambio climático en el sector energético chileno.



Fuente: EBP *et al*, 2018.

10. Reporte de Impactos Climáticos en Sistemas de Energía elaborado por el Banco Mundial (Ebinger y Vergara, 2011), Schaeffer *et al* (2012), y Asian Development Bank (2012).

En este contexto, las variables físicas analizadas corresponden a aquéllas que conllevan un probable impacto sobre el sector energético del país, dependiendo de la exposición, la sensibilidad de cada elemento del sector y su capacidad adaptativa, a saber:

- 1. Temperatura (T°):** Referida a la temperatura del aire superficial de la atmósfera, considerando los impactos asociados a cambios en el valor promedio en una determinada ventana de tiempo.
- 2. Precipitación (PP):** Cambios en el valor anual de la precipitación, su estacionalidad, los cambios promedio en distintas ventanas de tiempo, así como cambios en las probabilidades de excedencia de la precipitación mensual y/o anual.
- 3. Caudal (Q (PP, T°))<sup>11</sup>:** Se identifican impactos debido a cambios en el caudal anual de ríos, así como en su estacionalidad. Se debe destacar que los cambios en el caudal se determinan a partir de las variaciones en precipitación (PP) y temperatura (T°), pero también depende de variables asociadas a la geomorfología de las cuencas, la capacidad de recarga de los acuíferos, la cobertura y uso de suelos, entre otras.
- 4. Otras Variables:** Dependiendo del subsector de energía analizado, existirán otras variables de interés que serán detalladas en cada caso, por

ejemplo, los patrones y perfiles del viento, la nubosidad, la radiación, etc.

**5. Eventos Extremos:** Incluyen cambios en la variabilidad presente, frecuencia e intensidad de eventos relacionados con precipitación y temperatura, y su interrelación con otras variables. En base a las definiciones de indicadores de cambio climático (AdaptChile, 2016), se consideran los siguientes eventos extremos: olas de calor, heladas, anomalías de temperaturas extremas, vientos extremos, marejadas, precipitaciones intensas, sequías, inundaciones, aluviones, e incendios forestales.

Por otro lado, el Sistema Energético se dividió en tres componentes de análisis: Oferta Energética, Transporte de energía y Demanda por uso final de energía.

El componente de Oferta Energética considera tanto la disponibilidad de recursos energéticos, es decir, la dotación de recursos o matriz primaria de energía nacional incluyendo los combustibles importados, hasta la generación de energía eléctrica, la cual se refiere a la infraestructura y tecnologías de generación eléctrica que permiten la transformación de los recursos energéticos. En esta última categoría se consideran las tecnologías actualmente disponibles en Chile: generación hidroeléctrica, eólica, solar y termoeléctrica (en base a

11. Se utilizará la sigla Q (PP, T°), debido a que los cambios en el caudal se determinan principalmente a partir de las variaciones en precipitación y temperatura, bajo el supuesto que otras variables relevantes se mantienen estables.

biomasa, así como de combustibles fósiles). La tecnología en base al recurso geotérmico no fue considerada para efectos de evaluar el impacto del cambio climático en el recurso per se, ya que actualmente no se dispone de información de este aspecto. No obstante, se reconoce la importancia de monitorear los impactos al cambio climático a los cuales están expuestas estas nuevas tecnologías, para promover la diversificación de la matriz energética y por ende un sector de energía más resiliente a esta problemática.

El componente de Transporte de Energía se refiere a la infraestructura necesaria para el transporte de la energía al usuario final, tanto eléctrica como aquella asociada a combustibles.

La infraestructura eléctrica considera tanto la transmisión como la distribución de energía, como son las

líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, transformadores, empalmes, etc. La infraestructura asociada a combustibles incluye los terminales marítimos, las plantas de refinación, el almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos y estaciones de regasificación. En este modelo conceptual no se considera la infraestructura vial para transporte puesto que el Plan de Adaptación de Infraestructura del Ministerio de Obras Públicas incorpora esta variable.

La demanda de Energía se refiere a la demanda final, es decir, desde el punto de vista del uso final de la energía. Para este primer plan de adaptación, el análisis se enfocó en el uso de final de energía para generación de calor y climatización, como componente final de uso de los sectores transporte, comercial, público y residencial (CPR) e industria y minería.

## 4.2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ENERGÉTICO NACIONAL

En esta sección se presenta un resumen de los principales impactos del cambio climático identificados para los subsectores de oferta, transporte y demanda de energía del país, caracterizados por cambios en la temperatura ( $T^{\circ}$ ), en las precipitaciones (PP), en el caudal (Q) de los ríos, en eventos extremos y otras variables climáticas. Adicionalmente, se describen las brechas de información existentes. En el Anexo 1 es posible revisar el detalle de los impactos para cada subsector.

### 4.2.1 Oferta Energética

#### **IMPACTOS SOBRE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS**

##### Recurso Agua

El recurso energético agua es el más estudiado a nivel nacional, desde la región de Coquimbo hacia el sur, con proyecciones de impacto del cambio climático futuro en la disponibilidad del recurso hídrico. Este se ve afectado por cambio climático en variables como temperatura ( $T^{\circ}$ ), precipitación (PP), caudal (Q) y eventos extremos. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los impactos principales en el recurso agua.

**TABLA 4.** Resumen de impactos del cambio climático en el recurso agua.

Variable	Tendencia	Impacto en recurso agua
$T^{\circ}$	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Disminución de almacenamiento (nieve y glaciares).</li> <li>•Disminución de la escorrentía en primavera-verano.</li> <li>•Aumento de la demanda evapotranspirativa.</li> </ul>
PP	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Disminución de disponibilidad hídrica superficial y subterránea.</li> </ul>
Q (PP, $T^{\circ}$ )	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Disminución de la escorrentía superficial.</li> <li>•Cambios en la estacionalidad de caudales.</li> </ul>
Eventos extremos	Sequías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de conflictos por usos de agua.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### Brechas de información

Las tendencias generales se han estudiado, no obstante, los análisis a nivel local no han abordado ampliamente la recarga de acuíferos, así como también hay pocos estudios en las cuencas costeras. En general, la falta de estaciones de monitoreo, especialmente en zonas cordilleranas y acuíferos, así como en la zona norte y costera a lo largo del país, no permite lograr buenos resultados de modelación en dichas áreas. Se requieren estudios que consideren cambios en las condiciones extremas de disponibilidad hídrica en distintas zonas del país y estudios de eventos extremos de precipitaciones y caudales a nivel nacional, de modo de prever las situaciones de riesgo generadas por el cambio climático y tener la posibilidad de tomar decisiones de resguardo ante éstas.

### Recurso Solar

A nivel internacional se estima que el cambio climático puede afectar la disponibilidad del recurso solar mediante cambios en el contenido de vapor de agua (humedad) en la atmósfera, en la cobertura nubosa y en las características de la nubosidad, todo lo cual afectaría la transmisividad atmosférica\*. Estos cambios podrían verse contrarrestados debido al potencial aumento de la radiación solar en determinadas zonas (Ebinger & Vergara, 2011). En la Tabla 5 se presenta un resumen de los impactos en el recurso solar.

### Brechas de información

A pesar de que existen estudios que evalúan el impacto del cambio climático sobre el recurso solar, se debe continuar profundizando en esta materia. De todas maneras, se destaca como una oportunidad la disponibilidad del recurso solar debido a mejores condiciones en la zona centro y centro sur del país.

**TABLA 5.** Resumen de impactos del cambio climático en el recurso solar.

Variable	Tendencia	Impacto en recurso solar
Otras Variables	Cambios en patrones de humedad, nubosidad y radiación	•Aumentos de radiación solar en zona centro y centro sur del país •Disminución en zona austral

Fuente: EBP *et al*, 2018.

\* Es la razón entre la radiación solar global a nivel del suelo y la radiación solar más allá de la superficie terrestre.

### Recurso Viento

La literatura internacional indica que la velocidad y variabilidad del recurso viento definen la factibilidad económica y fiabilidad de producción de energía eléctrica de una futura planta eólica, variables que dependen a su vez de las condiciones presentes y futuras del clima global. Cambios en la distribución geográfica y en patrones del viento son los principales mecanismos a través de los cuales el cambio climático impactará en la dotación de recursos eólicos, los cuales podrán conllevar a incrementos o disminuciones en la disponibilidad del recurso. En la Tabla 6 se presenta un resumen de los impactos en el recurso viento.

#### Brechas de información

Las principales brechas de

información son la falta de estudios nacionales respecto del posible impacto del cambio climático en la velocidad y variabilidad de los vientos. La escasa red de monitoreo de viento tampoco permite prever un adecuado seguimiento y menos una calibración de algún modelo.

### Recurso Biomasa

Para el sector energético en Chile, se considera la biomasa nativa y forestal, como fuente energética utilizada en la generación eléctrica y también como uso directo en la demanda final. Este recurso se ve afectado por el cambio climático en variables como temperatura ( $T^{\circ}$ ), precipitación (PP), caudal (Q) y eventos extremos. En la Tabla 7 se presenta un resumen de los impactos en este recurso.

**TABLA 6.** Resumen de impactos del cambio climático en el recurso viento.

Variable	Tendencia	Impacto en recurso viento
<b>Otras Variables</b>	Cambios en patrones de viento	• Cambios en la disponibilidad del recurso eólico (aumentos o disminuciones)

Fuente: EBP *et al*, 2018.

**TABLA 7.** Resumen de impactos del cambio climático en el recurso biomasa.

Variable	Tendencia	Impacto en recurso biomasa
$T^{\circ}$	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en disponibilidad de biomasa debido a menores rendimientos.</li> <li>• Cambios en distribución geográfica de cultivos y especies nativas.</li> <li>• Cambios en la presencia de pestes.</li> </ul>
PP	Disminución	• Aumento de la demanda evapotranspirativa.
Q (PP, $T^{\circ}$ )	Disminución	• Disminución de disponibilidad hídrica influirá en la capacidad de producción de biomasa para energía.
<b>Eventos Extremos</b>	Sequías; olas de calor; temperaturas extremas; inundaciones; vientos extremos; e incendios forestales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la eficiencia de producción de biomasa.</li> <li>• Aumento de costos de operación por seguros.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### Brechas de información

Las principales brechas de información tienen relación con la falta de estudios locales que analicen impactos de eventos extremos sobre la disponibilidad de biomasa. Así también, distintos sectores reconocen que existe una intensificación de la competencia por agua debido al impacto del cambio climático, requiriendo abordar el manejo integrado de cuencas.

Finalmente, se destaca que a pesar de contar con estudios de impacto en los pisos vegetacionales y en el rendimiento de algunas plantaciones forestales, no se cuenta con estudios que relacionen estos resultados con el impacto en la disponibilidad de biomasa como recurso energético.

### IMPACTOS SOBRE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN

#### Generación Hidroeléctrica

A continuación, se muestran los impactos esperados del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica y su infraestructura asociada, considerando su relación con los impactos en el recurso agua antes expuestos. Estos impactos se manifiestan en variables como el caudal (Q) y los eventos extremos, ambos cruzados por las variables de precipitación y temperatura. En la Tabla 8 se presenta un resumen de los impactos en la generación hidroeléctrica.

#### Brechas de información

Esta es la componente del sistema energético que cuenta con mayor cantidad de información

**TABLA 8.** Resumen de impactos del cambio climático en la generación hidroeléctrica.

Variable	Tendencia	Impacto en generación hidroeléctrica
<b>Q (T°yPP)</b>	Disminución	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sobredimensionamiento de plantas existentes.</li><li>• Disminución de almacenamiento en embalses y reservorios</li><li>• Disminución de generación hidroeléctrica, especialmente en temporada de deshielos.</li><li>• Aumento de competencia y conflictos por el agua.</li></ul>
<b>Eventos Extremos</b>	Precipitaciones extremas, crecidas y sequías	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de costos de mantención y operación.</li><li>• Precipitaciones intensas y crecidas: aumento de inundaciones, remoción en masa, aluviones y arrastre de sedimentos, con potenciales daños en infraestructura energética, disminuyendo su vida útil (bocatomas y embalses).</li><li>• Episodios de sequía: disminución de niveles en los embalses y aumento de conflictos por usos del agua.</li><li>• Todas las anteriores pueden conllevar a posibles interrupciones de la producción de energía a su disminución.</li></ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

a nivel nacional en cuanto a impactos del cambio climático. Las metodologías de análisis y tendencias generales de las proyecciones medias anuales ya se conocen, no obstante falta profundizar en estudios espacial y temporalmente más específicos, permitiendo abordar condiciones extremas. La principal brecha de información es la falta de análisis del impacto específico de eventos extremos sobre la infraestructura para la generación hidroeléctrica.

### Generación Solar

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación solar y su infraestructura asociada. Considerando su relación con los impactos en el recurso solar antes expuestos, acá se examinan impactos en las variables relacionadas como

son temperatura, eventos extremos y otras variables como son la radiación solar y nubosidad. En la Tabla 9 se presenta un resumen de los impactos en la generación solar.

### Brechas de información

Las principales brechas de información son la falta de estudios nacionales respecto del impacto sobre las tecnologías de generación solar, así como la escasa red de monitoreo de radiación. No obstante, de acuerdo a la opinión experta, permite concluir que las condiciones que hoy ya son favorables en términos de radiación solar en la zona norte y centro norte, se verán intensificadas y expandidas hacia la zona centro sur del país, lo cual es a su vez una oportunidad para la generación en base a energía solar más allá de la zona norte.

**TABLA 9.** Resumen de impactos del cambio climático en la generación solar.

Variable	Tendencia	Impacto en generación solar
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución del rendimiento de paneles solares, pero de poca relevancia.</li> </ul>
Otras Variables	Aumento de radiación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliación de la zona geográfica con potencial de generación.</li> <li>Posible disminución en rendimientos de paneles por cambio de patrones de vientos en el norte, pero poco significativas y en el largo plazo (segunda mitad del siglo).</li> </ul>
Eventos Extremos	Granizos, Vientos extremos, Aluviones y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños en la infraestructura de generación por posibles aluviones, vientos extremos, granizos.</li> <li>Disminución en el rendimiento de paneles por olas de calor, pero de muy baja significancia.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

## Generación Eólica

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación eólica y su infraestructura asociada. Considerando su relación con los impactos en el recurso viento antes expuesto, acá se examinan impactos en las variables relacionadas como son eventos extremos y otras variables (patrones de viento). En la Tabla 10 se presenta un resumen de los impactos en la generación eólica.

## Brechas de información

Las principales brechas de información son la falta de estudios nacionales sobre la variabilidad de los patrones de viento producto del cambio climático, así como la escasa red de monitoreo de viento.

**TABLA 10.** Resumen de impactos del cambio climático en la generación eólica.

Variable	Tendencia	Impacto en generación eólica
Otras Variables	Patrones de viento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cambios en la producción de energía (tendencia desconocida, puede ser aumento o disminución).</li></ul>
Eventos Extremos	Vientos extremos, inundaciones y aluviones	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daños en la infraestructura de generación.</li><li>• Vientos extremos: cambios en los factores de carga, cambios en los requerimientos de diseño.</li><li>• Disminución de heladas: menor probabilidad de eventos de congelamiento de turbinas.</li></ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### Generación Termoeléctrica

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación termoeléctrica y su infraestructura asociada. Se examinan impactos en las variables relacionadas como son temperatura, precipitación, caudal y eventos extremos. En la Tabla 11 se presenta un resumen de los impactos en la generación termoeléctrica.

### Brechas de información

Las principales brechas de información son la falta de estudios nacionales que analicen los impactos de eventos extremos y otras variables del cambio climático en la infraestructura y tecnología de generación termoeléctrica.

**TABLA 11.** Resumen de impactos del cambio climático en la generación termoeléctrica.

Variable	Tendencia	Impacto en generación termoeléctrica
<b>T°</b>	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de eficiencia de grupos electrógenos, calderas y turbinas.</li> <li>• Disminución de eficiencia de sistemas enfriados por aire.</li> <li>• Disminución de generación total.</li> </ul>
<b>PP y Q</b>	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de recarga de acuíferos y aumentos de costos de refrigeración por agua (para termoeléctricas que usan este recurso).</li> <li>• Reducción de eficiencia de ciclos térmicos.</li> </ul>
<b>Eventos Extremos y Otras Variables</b>	Marejadas, inundaciones, sequías y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños en la infraestructura de generación por posibles aluviones, vientos extremos, granizos, subidas en el nivel del mar.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

## 4.2.2 Transporte de Energía

A continuación, se indican los impactos esperados en la transmisión y distribución (T&D) de la infraestructura eléctrica y de aquella asociada a combustibles. Se examinan impactos en las variables de temperatura, eventos extremos y otras variables relacionadas. En las Tablas 12 y 13 se presenta un resumen de los impactos en el transporte de energía separado por infraestructura asociada a electricidad y a combustibles.

### INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

A continuación, se indican los impactos esperados en la infraestructura asociada a combustibles y las principales brechas de información detectadas.

### Brechas de información

Las principales brechas de información corresponden a la falta de estudios nacionales que identifiquen los impactos sobre la infraestructura de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Tanto en las entrevistas a expertos como en los talleres de capacitación y discusión realizados en las regiones como parte de la metodología de trabajo para diseñar el Plan, surgió la necesidad de tener mayores antecedentes del posible impacto de los eventos extremos sobre los sistemas de transmisión y distribución, para poder prever eventos de riesgo y buscar alternativas de adaptación. Se destacaron los eventos como aluviones, remoción en masa, heladas e incendios.

**TABLA 12.** Resumen de impactos del cambio climático en la transmisión y distribución de energía eléctrica

Variable	Tendencia	Impacto en transmisión y distribución
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de capacidad y eficiencia de T&amp;D.</li> </ul>
<b>Eventos Extremos y Otras Variables</b>	<p>Heladas; humedad excesiva; vientos extremos; inundaciones; aluviones; olas de calor e incendios</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vientos extremos, aluviones, inundaciones: Daños en la infraestructura de transmisión y distribución.</li> <li>Olas de calor: disminución en la eficiencia de generación, y en la producción de energía; aumento en pandeo de cables.</li> <li>Aumento en interrupciones del suministro eléctrico.</li> <li>Cambios en capacidad y daños en redes, transformadores y estaciones conmutadoras; disminución de capacidad de transmisión y distribución.</li> <li>Aumento de costos de mantención.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### **INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A COMBUSTIBLES**

A continuación, se indican los impactos esperados en la infraestructura asociada a combustibles y las principales brechas de información detectadas.

#### **Brechas de información**

Las principales brechas de información es que no se encontraron estudios nacionales que analicen los impactos del cambio climático en la infraestructura de combustibles.

Se destaca el impacto de las marejadas sobre la infraestructura portuaria, cuyos cierres temporales podrían impactar en el acceso al suministro de combustibles importados. En este sentido, en los talleres de elaboración del Plan, se destacó la necesidad de tener estudios que permitan comprender el impacto del cambio climático en las marejadas a nivel local. También, se destacó la necesidad de contar con más estudios de eventos extremos relacionados con precipitaciones máximas (como son los aluviones y remoción en masa).

**TABLA 13.** Resumen de impactos del cambio climático en la infraestructura asociada a combustibles.

Variable	Tendencia	Impacto en infraestructura asociada a combustibles
<b>Otras Variables y Eventos Extremos</b>	Alza del nivel del mar y marejadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibles daños a la infraestructura portuaria, refinерías, plantas regasificadoras, oleoductos, gasoductos y a toda instalación y equipos que se ubiquen en las costas nacionales.</li> <li>• Posibles interrupciones en la internación de combustibles por cierre de puertos.</li> </ul>
	Aluviones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños a la infraestructura en las zonas de montaña</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### 4.2.3 Demanda de Energía

A continuación, se indican los impactos esperados en usos finales de calefacción y refrigeración en los distintos sectores (residencial, público y comercial, industria y minería) y por otros usos finales (especialmente de la industria y minería). En las Tablas 14 y 15 se presenta un resumen de los principales impactos.

#### **IMPACTOS EN LA DEMANDA DE CALOR Y REFRIGERACIÓN EN LOS DISTINTOS SECTORES**

A continuación, se indican los impactos esperados en usos finales de calefacción y refrigeración en los sectores comercial, público y residencial (CPR), industria y minería.

#### **Brechas de información**

No existen estudios nacionales que estimen la variación en los patrones de consumo final de energía producto del cambio climático. La literatura internacional indica que existirá un aumento en la demanda de refrigeración y una disminución en la demanda de calefacción, no obstante, a nivel nacional no se han realizado estudios que permitan comprender qué sucederá con el comportamiento de la demanda.

Esta brecha toma especial relevancia al momento de abordar el proceso de planificación energética de largo plazo, toda vez que su proyección parte de la estimación de las demandas proyectadas. Otro elemento relevante es la necesidad de comprender los cambios de comportamiento en las olas de calor, cuyos *peak* de consumo pueden tener un impacto relevante en el sistema.

**TABLA 14.** Resumen de impactos del cambio climático en la demanda de calor, refrigeración y otros.

Variable	Tendencia	Impacto en demanda de calor y refrigeración
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"><li>• Disminución de demanda de calefacción.</li><li>• Aumento de demanda de refrigeración.</li></ul>
Q	Disminución	<ul style="list-style-type: none"><li>• Disminución en capacidad de refrigeración en algunas industrias (aumento de costos de refrigeración).</li></ul>
Eventos Extremos y Otras Variables	Temperaturas extremas; olas de calor	<ul style="list-style-type: none"><li>• Posibles <i>peak</i> de demanda por olas de calor.</li><li>• Aumento de demanda de refrigeración a nivel industrial y residencial.</li></ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

### **IMPACTOS EN LA DEMANDA POR OTROS USOS FINALES DE LA INDUSTRIA Y MINERÍA**

A continuación, se indican los impactos esperados en usos finales de industria y minería.

### **Brechas de información**

Faltan estudios a nivel nacional relacionados con la evaluación de los impactos del cambio climático sobre la demanda de energía para calefacción y refrigeración, así como también se requiere comprender el impacto en los patrones de consumo de los sectores productivos.

**TABLA 15.** Resumen de impactos del cambio climático en otros factores de demanda.

Variable	Tendencia	Impacto en demanda de calor y refrigeración
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución eficiencia de equipos de combustión, intercambiadores de calor, etc.</li> </ul>
PP y Q	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la competencia por el agua.</li> <li>• Aumento de demanda de energía por bombeo y/o tratamientos de agua (desalinización).</li> </ul>
<b>Eventos Extremos y Otras Variables</b>	Temperaturas extremas; olas de calor; marejadas; aluviones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marejadas, aluviones: Daños en infraestructura.</li> <li>• Sequías: Aumento de demanda de competencia por el agua.</li> </ul>

Fuente: EBP *et al*, 2018.

#### 4.2.4 Resumen de Impactos del Cambio Climático sobre el Sector Energético Chileno

A partir de la extensa revisión que se realizó de la literatura nacional e internacional disponible durante el estudio de elaboración del Plan (EBP *et al*, 2018), es posible constatar que los cambios futuros de las variables físicas producto del cambio climático conllevan una serie de impactos esperados sobre el sector energético del país. Dependiendo de la exposición, la sensibilidad de cada elemento del sector y su capacidad adaptativa, pueden constituir una amenaza o una oportunidad para el sector.

Sobre la base de la información examinada y la opinión de expertos, tanto del equipo consultor como aquella obtenida a través de los talleres y entrevistas, se levanta un primer barrido de los impactos (EB *et al*, 2018), resumido en la Tabla 16.

Para los distintos subsectores del sector energía considerados en el modelo conceptual de análisis, como son los recursos energéticos, generación, transporte y demanda de energía, la tabla recoge y diferencia aquellos casos donde se cuenta con información nacional en la forma de estudios (color azul) y

aquellos en los cuales solo se tiene opinión experta (color naranja). También se diferencian aquellos impactos reconocidos en la literatura internacional, pero con tendencia desconocida para Chile (TD) debido a la falta de información nacional y local, además de aquellos sin impactos esperados (0).

En términos generales, se aprecia que la mayor parte de los impactos negativos no han sido analizados en Chile (color naranja), información que debe ser considerada dentro de las medidas de adaptación y permitir así profundizar en los impactos negativos que afectarán a Chile. Los impactos del cambio climático estudiados en Chile son principalmente aquellos relacionados con el recurso agua y biomasa, siendo todos negativos. Además, varios elementos del sector energía que serán afectados por el cambio climático, no han sido estudiados (color naranja) o tienen tendencia desconocida (TD). Resalta el impacto negativo de los eventos extremos sobre la infraestructura del sector y la capacidad de cumplir con un suministro seguro y sustentable. Finalmente, se estiman algunos impactos positivos, pero estos no han sido estudiados en profundidad en Chile.



En términos de oportunidades, se deben mencionar:

- La capacidad instalada para estudiar el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, donde existe capacidad de modelación y buena información de base. No obstante, se reconoce que falta un mejor entendimiento de fenómenos extremos como precipitaciones máximas y su impacto en infraestructura energética.
- Las (posibles) mejores condiciones de radiación para la generación solar en la zona centro-sur del país.
- La potencial reducción de consumo de energía para calefacción. No obstante, se debe considerar que se desconoce el comportamiento futuro de la demanda, y si ésta se ve contrarrestada por el aumento en requerimientos de refrigeración.

En términos de brechas, se destacan:

- Necesidad de profundizar en estudios de eventos extremos producto del cambio climático y su impacto en toda la infraestructura energética, considerando, además, la componente territorial. Se identificaron algunos eventos extremos prioritarios, como son precipitaciones extremas, crecidas, inundaciones, aluviones, incendios, y marejadas.
- Se destaca la necesidad de abordar con mayor profundidad el análisis de impacto del cambio climático en transmisión y distribución de energía eléctrica, considerando la componente territorial.

- Se requieren estudios de impacto del cambio climático sobre el recurso viento y las tecnologías de generación eólica.

- Se deben considerar estudios específicos del impacto de las temperaturas y olas de calor en las distintas tecnologías de generación; en el sistema de transmisión y distribución; así como en el comportamiento de los patrones de consumo de energía.



PARTE

**V**

**COMPONENTES DEL PLAN**

## 5.1. PRINCIPIOS ORIENTADORES

Los principios por los cuales se rige el plan son los siguientes:

- **Resiliencia y sustentabilidad de largo plazo**, abordando desafíos y oportunidades de la adaptación.
- **Territorialidad**, considerando tanto la diversidad de impactos del cambio climático como del sector energía a lo largo del territorio nacional.
- **Rigurosidad e información precisa**, utilizando el mejor conocimiento científico disponible.
- **Coherencia y sinergia** con la política nacional de energía y con otros planes nacionales y sectoriales de cambio climático, incluido el plan de mitigación para energía.
- **Racionalidad económica** en el diseño e implementación de las medidas.
- **Dinamismo y flexibilidad**, para incorporar nuevas medidas en función de las evaluaciones, lecciones aprendidas y conocimiento generado.

## 5.2. OBJETIVOS

### Objetivo general

Promover el desarrollo de un sistema energético resiliente, generando y fortaleciendo la capacidad de prevención y respuesta del sector energético a los impactos del cambio climático.

### Objetivos específicos

1. Evaluar el impacto y riesgo de la infraestructura energética ante eventos climáticos extremos y promover medidas que permitan reducir la vulnerabilidad del sector e incrementar su resiliencia.
2. Evaluar los impactos del aumento de la demanda energética por variabilidad climática, actualizando las medidas requeridas para hacer frente a dicha alza.
3. Promover la integración público-privada como base para implementar las medidas de adaptación en el sector energía.
4. Fortalecer la coordinación y capacidades institucionales a fin de aprovechar los esfuerzos existentes para enfrentar la adaptación del sector energía.
5. Generar conocimiento y difundir los avances del Plan, a fin de precisar la toma de decisiones en materia de adaptación.

### 5.3. ESTRUCTURA DEL PLAN: LINEAMIENTOS DE ACCIÓN Y MEDIDAS

El plan de adaptación del sector energía se estructura en base a cinco lineamientos de acción (LA) bajo los cuales se definen las medidas prioritarias para el sector:

- **Lineamiento de Acción 1 (LA1).**

Una oferta energética más resiliente al cambio climático en las distintas escalas territoriales.

- **Lineamiento de Acción 2 (LA2).**

Hacia un transporte de energía mejor adaptado al cambio climático y a eventos climáticos extremos.

- **Lineamiento de Acción 3 (LA3).**

Un sector energía mejor preparado ante aumentos de demanda energética producto del cambio climático.

- **Lineamiento de Acción 4 (LA4).**

Arreglos institucionales y alianzas intersectoriales que propicien la adaptación del sector energético al cambio climático.

- **Lineamiento de Acción 5 (LA5).**

Capacidades técnicas a la vanguardia y difusión del Plan.

Los tres primeros lineamientos de acción responden a las principales necesidades detectadas en los componentes de oferta, transporte y demanda del sector energía y los dos lineamientos restantes contribuyen a la implementación del plan de manera transversal, y tienen por objetivo fortalecer la coordinación público-privada y generar una estrategia comunicacional.

Para cada lineamiento se proponen medidas que permitan sentar las bases para ir adaptando al sector energía al cambio climático.

Concretamente las medidas del plan se clasifican en **habilitadoras (H)**, aquellas orientadas a la generación de conocimiento robusto sobre la relación vulnerabilidad y resiliencia climática en el sector energía, **de acción (A)**, correspondientes a medidas de adaptación de tipo ingeniería, gestión y/o planificación, y de **fortalecimiento y coordinación institucional (FCI)**, que definen el marco institucional político y regulatorio y de coordinación entre instituciones tanto públicas como privadas en el sector energía.

En este primer plan de adaptación al cambio climático del sector energía, se reconoce la necesidad de cubrir importantes brechas de información para definir medidas de acción concretas de tipo ingenieril o de planificación en el sector energía, dado que el alto costo económico y social de este tipo de medidas, requiere de información robusta que respalde la toma de decisiones en este sentido.

De acuerdo a los impactos al cambio climático priorizados en el sector energético, se definieron 15 medidas de adaptación para el sector de energía, las cuales se encuentran resumidas en la Tabla 17.

El fundamento y detalle de cada medida se presenta en el Capítulo 6, en las fichas resúmenes de las medidas.

**TABLA 17.** Lista de medidas de adaptación priorizadas para la elaboración de fichas

Ficha	Medida
<b>LA1. Una oferta energética más resiliente al cambio climático en las distintas escalas territoriales</b>	
1	Análisis geográficamente más detallados de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas (H).
2	Análisis detallados de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre otros recursos y tecnologías de generación energética (H).
3	Estudio de riesgo de la infraestructura de generación de energía ante impactos del cambio climático (H).
4	Conocer el impacto de generación distribuida para mejorar la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos climáticos extremos (H).
<b>LA2. Hacia un transporte de energía mejor adaptado al cambio climático y a eventos climáticos extremos</b>	
5	Estudio de riesgo de la infraestructura de transporte de energía ante eventos extremos climáticos (H).
<b>LA3. Un sector energía mejor preparado ante aumentos de demanda energética producto del cambio climático</b>	
6	Análisis del comportamiento de la demanda energética considerando los impactos del cambio climático (H).
7	Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria, para reducir el consumo de energía por aumento de temperaturas (A).
8	Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por aumento de temperaturas (A).
<b>LA4. Arreglos institucionales y alianzas intersectoriales en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático</b>	
9	Coordinación institucional en los distintos niveles territoriales, para impulsar la adaptación al cambio climático del sector energético (FCI).
10	Coordinación público privada (FCI). Para avanzar en acciones comunes que aumenten la resiliencia al cambio climático.
11	Fortalecer la planificación y gestión del riesgo en el sector energía ante eventos extremos (A).
12	Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética (FCI).
13	Integrar los impactos del cambio climático en la planificación de las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia de energía (H).
14	Contribuir a la inclusión del análisis del impacto de cambio climático en la evaluación de proyectos energéticos en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) (H).
<b>LA5. Capacidades técnicas a la vanguardia y difusión del Plan</b>	
15	Generar capacitaciones y elaborar una estrategia comunicacional de largo plazo, que permita la difusión y acompañe la implementación del Plan de Adaptación.

## 5.4. MONITOREO Y ACTUALIZACIÓN

El monitoreo del Plan de Adaptación se realizará a través de la evaluación anual de cada medida y sus indicadores respectivos, con el fin de poder identificar posibles dificultades y establecer medidas correctivas. Este monitoreo, además, servirá como base para la elaboración del Informe de Seguimiento de la Política Energética y para la elaboración del Informe de Avance Anual de Implementación que se debe presentar al Ministerio del Medio Ambiente.

La evaluación global y actualización del Plan se realizará cada cinco años, en coherencia con la Política Energética Nacional (PEN) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC 2014), en un proceso participativo integrando todos los actores relevantes para la implementación de las medidas.

## 5.5. FINANCIAMIENTO

El plan de adaptación cuenta con financiamiento institucional para su implementación, a través del trabajo de sus profesionales del Ministerio de Energía para implementar las medidas del plan y la elaboración de estudios.

A su vez, se reconoce la necesidad de obtener financiamiento externo, para lo cual se promoverá la cooperación intersectorial de modo de generar sinergias con estudios y medidas que promuevan la adaptación del sector energía al cambio climático desarrolladas por otros sectores, tanto públicos como privados y de la academia.

A nivel internacional, se promoverá la búsqueda de financiamiento para el desarrollo de capacidades, la innovación tecnológica y el intercambio de experiencias.



PARTE

**VI**

# FICHAS RESÚMENES DE LAS MEDIDAS

**Lineamiento de Acción 1.** Una oferta energética más resiliente al cambio climático en las distintas escalas territoriales.

Medida 1	
<b>Nombre de la Medida</b>	Análisis geográficamente más detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas.
<b>Tipo de medida</b>	Medida habilitadora
<b>Objetivo</b>	Desarrollar información actualizada que permita, tanto al sector público como privado, orientar la ejecución de estudios locales respecto del impacto del cambio climático en la generación de hidroelectricidad, tanto en las condiciones medias como extremas.
<b>Descripción</b>	<p>En Chile, las tendencias generales del impacto del cambio climático en la generación hidroeléctrica se han estudiado, no obstante a nivel local no se ha abordado ampliamente.</p> <p>Para promover y realizar estudios a nivel local del impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico y la generación hidroeléctrica, es necesario contar con información robusta del recurso hídrico, la cual actualmente se encuentra dispersa en diversos servicios públicos, por ejemplo, Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas, Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Ministerio del Medio Ambiente y en el sector privado, como empresas hidroeléctricas, asociaciones de canalistas, etc. Además, dado que la función de cada organización es diferente, la información recolectada presenta temporalidades y unidades de medición distintas.</p> <p>Adicionalmente, se ha detectado la necesidad de aumentar la densidad de estaciones meteorológicas, por ejemplo, en las cuencas cordilleranas, donde se ubica el principal potencial de generación hidroeléctrica y la potencia instalada actual. La disponibilidad de tales datos exige una inversión considerable de medios para crear sistemas integrales de seguimiento e información que no existen en la actualidad.</p>
<b>Plazos</b>	2018-2023

Continúa en página siguiente.



<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar un catastro y caracterización de toda la información pública existente respecto al recurso hídrico.</li> <li>2) Desarrollar un análisis y evaluación de la calidad de la información.</li> <li>3) Del procesamiento y análisis de la información señalada anteriormente, evaluar las brechas de información y requerimientos de nuevas estaciones meteorológicas en cuencas cordilleranas a implementar por organismos competentes.</li> <li>4) Disponibilizar públicamente la información a través de plataformas de información (sitio web) a objeto de facilitar el desarrollo de estudios específicos que pudiera realizar cualquier entidad interesada en el impacto de cambio climático en la hidroelectricidad (por ejemplo empresas eléctricas y academia).</li> <li>5) Desarrollar nueva modelación hidrológica y nuevos estudios que permitan, en base a puntos 1), 2) y 3), desarrollar nuevos escenarios de cambio climático y su impacto en generación hidroeléctrica actual y proyectada.</li> <li>6) Socializar y difundir resultados.</li> </ol>
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Catastro y evaluación de la información pública existente realizado.</li> <li>2) Evaluación de requerimientos de información y nuevas estaciones meteorológicas.</li> <li>3) Información disponible en plataforma Web.</li> <li>4) Modelación hidrológica y estudios específicos desarrollados.</li> <li>5) Campaña de información realizada.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Coordinador Eléctrico Nacional, academia, Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), empresas y organizaciones privadas, entre otros por determinar.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	La actividad 6 de esta medida está relacionada con el lineamiento de acción 5.

Medida 2	
<b>Nombre de la Medida</b>	Análisis detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre otros recursos y tecnologías de generación energética.
<b>Tipo de medida</b>	Medida habilitadora
<b>Objetivo</b>	Generar información respecto a otros recursos energéticos y tecnologías de generación que sirva de base para la toma de decisiones en el sector energético.
<b>Descripción</b>	<p>Actualmente existen importantes brechas de información en torno al impacto del cambio climático a nivel nacional y local sobre los recursos viento, solar y biomasa y sus tecnologías de generación.</p> <p>Las tendencias internacionales muestran que en general el recurso solar se verá favorecido ante el cambio climático, mientras que la evidencia respecto al recurso viento no es clara y se requieren estudios a nivel país para determinar su impacto.</p> <p>En el caso del recurso biomasa, los estudios que se han llevado a cabo tienen un foco en producción y conservación, por lo que hoy es difícil determinar de qué manera afectará el cambio climático en su uso como combustible, considerando que en Chile es el combustible más utilizado para generación de calor en la zona centro y sur del país.</p> <p>Por otro lado, los estudios disponibles tampoco relevan importantes efectos del cambio climático en la infraestructura solar, eólica y térmica en base a biomasa, no obstante en los talleres realizados durante la elaboración del estudio "Elaboración documento base para el plan de adaptación al cambio climático para el sector energía" (EBP <i>et al</i>, 2018), se mencionaron impactos negativos en tecnología solar debido a altas temperaturas. En el caso de la energética térmica, se mencionó el impacto debido al alza de la temperatura del agua utilizada para el enfriamiento de los procesos, cuya consecuencia es la salida de agua a mayor temperatura que la permitida por la norma.</p> <p>Finalmente, existen tecnologías de generación que se encuentran en desarrollo o incluso en fase exploratoria, como la geotérmica y la undimotriz y tecnologías de almacenamiento, cuyo desarrollo contribuiría a fortalecer la matriz energética, tanto desde el punto de vista de su diversificación (reduciendo la dependencia por un solo tipo de recurso) como desde el punto de vista de respaldo.</p> <p>En el marco del plan de adaptación se deberán priorizar estudios que contribuyan al desarrollo de estas tecnologías.</p>
<b>Acciones</b>	Desarrollar estudios para proyectar la disponibilidad, comportamiento de los recursos energéticos y el impacto del cambio climático sobre tecnologías de generación prioritarias para la diversificación y fortalecimiento de la red eléctrica.
<b>Plazos</b>	2018-2023 (desarrollo continuo)
<b>Indicador de seguimiento</b>	Estudios definidos vs estudios realizados.
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (Mde).
<b>Colaboradores</b>	Instituciones sectoriales, centros de estudio y sector privado.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

Medida 3	
<b>Nombre de la Medida</b>	Realizar un estudio de riesgo de la infraestructura de generación de energía ante impactos del cambio climático.
<b>Tipo de medida</b>	Medida habilitadora
<b>Objetivo</b>	Definir la infraestructura de generación de energía eléctrica crítica vulnerable frente a los impactos del cambio climático, para focalizar las medidas de acción y gestión para la adaptación del sector.
<b>Descripción</b>	<p>La infraestructura energética para la generación de energía eléctrica se encuentra expuesta a eventos climáticos extremos que ponen en riesgo tanto el proyecto, como la generación de energía. El grado de vulnerabilidad depende de su ubicación (por ejemplo varias centrales térmicas se encuentran ubicadas en el borde costero, expuestas a marejadas) como de sus características intrínsecas (como por ejemplo, de acuerdo a la experiencia de algunos participantes en los talleres de elaboración del estudio base del plan, se han evidenciado impactos en la tecnología solar producto de temperaturas extremas) y su nivel de resiliencia.</p> <p>Considerando esto, se requiere conocer el estado de vulnerabilidad de la infraestructura de generación de energía por tipo de tecnología y ubicación, de modo de focalizar las medidas de adaptación.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar un estudio de vulnerabilidad de la infraestructura energética de Chile.</li> <li>2) Realizar un análisis de posibles medidas para aumentar la capacidad adaptativa de la infraestructura vulnerable, incluyendo aspectos de diseño y análisis territorial que incluya un análisis de costo-beneficio.</li> <li>3) Realizar un análisis de las políticas energéticas, de planificación y de la normativa existente, para evaluar cómo incluir las medidas resultantes del punto 2.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	2018-2023
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Estudio de vulnerabilidad realizado.</li> <li>2) Estudio de medidas para aumentar la capacidad adaptativa realizado</li> <li>3) Estudio de análisis político y normativos realizado.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (Mde).
<b>Colaboradores</b>	Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Comisión Nacional de Energía (CNE), Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y sector privado.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	Esta medida es sinérgica con la medida 5 referida a infraestructura energética de transporte crítica, vulnerable a eventos climáticos extremos.

Medida 4	
<b>Nombre de la Medida</b>	Generación distribuida para mejorar la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos climáticos extremos.
<b>Tipo de medida</b>	Medida habilitadora
<b>Objetivo</b>	Conocer el impacto de la generación distribuida como medida para fortalecer la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a eventos extremos.
<b>Descripción</b>	<p>Los sistemas eléctricos se ven fuertemente impactados por eventos climáticos extremos, causando en ocasiones interrupciones de suministro que afectan a la población.</p> <p>La generación distribuida se presenta como una solución para reducir este riesgo y aumentar la resiliencia del sistema, no obstante, es necesario evaluar esta medida en el contexto nacional, considerando aspectos normativos y técnicos para definir asuntos clave que permitan que su desarrollo contribuya de manera efectiva a la adaptación del sistema energético.</p>
<b>Acciones</b>	Realizar un estudio que analice la factibilidad técnica y normativa de la red de distribución para mejorar la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos climáticos extremos.
<b>Plazos</b>	2020-2021
<b>Indicador de seguimiento</b>	Estudio realizado.
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Comisión Nacional de Energía (CNE), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), academia.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

**Lineamiento de Acción 2.** Hacia un transporte de energía mejor adaptado al cambio climático y a eventos climáticos extremos.

Medida 5	
<b>Nombre de la Medida</b>	Estudio de riesgo de la infraestructura de transporte de energía ante eventos extremos climáticos.
<b>Tipo de medida</b>	Medida habilitadora
<b>Objetivo</b>	Definir la infraestructura de transporte crítica, vulnerable al cambio climático, para focalizar las medidas de adaptación en el sector energía.
<b>Descripción</b>	<p>La infraestructura energética para el transporte de energía (tanto eléctrica como de combustibles) se encuentra expuesta eventos climáticos extremos que ponen en riesgo el suministro energético. El grado de vulnerabilidad de la infraestructura depende de su ubicación y de sus características intrínsecas.</p> <p>En el caso de la infraestructura de transporte de energía eléctrica, su operación se ve expuesta a la ocurrencia de incendios, aluviones y olas de calor, entre otros eventos, y en el caso de la infraestructura de transporte de combustibles, esta está expuesta a eventos similares pero además, de manera particular, se ha evidenciado que el evento de marejadas puede tener un impacto importante en el abastecimiento de combustibles.</p> <p>Considerando estos antecedentes, se requiere hacer un estudio integral del nivel de riesgo al que está expuesta la infraestructura de transporte de energía (en conjunto con la infraestructura de generación señalada en la medida 3) para establecer la infraestructura crítica vulnerable y a partir de este análisis, definir medidas de acción para la adaptación al cambio climático.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar un estudio de riesgo de la infraestructura de transporte de energía en Chile.</li> <li>2) Realizar un análisis de medidas de acción y gestión para aumentar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura de transporte de energía, que incluya análisis de costo-beneficio.</li> <li>3) Realizar un análisis de las políticas energéticas, de planificación y de la normativa existente para evaluar cómo incluir las medidas resultantes del punto 2.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	2018-2023
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Estudio de vulnerabilidad realizado.</li> <li>2) Estudio de medidas para aumentar la capacidad adaptativa realizado.</li> <li>3) Estudio de análisis político y normativos realizado.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (Mde).
<b>Colaboradores</b>	Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Comisión Nacional de Energía (CNE), Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Obras Públicas (MOP) y sector privado.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	Esta medida es sinérgica con la medida 3 referida a infraestructura de generación eléctrica crítica vulnerable a eventos climáticos extremos.



**Lineamiento de Acción 3.** Un sector energía mejor preparado ante aumentos de demanda energética producto del cambio climático.

<b>Medida 6</b>	
<b>Nombre de la Medida</b>	Análisis del comportamiento de la demanda energética considerando los impactos del cambio climático.
<b>Tipo de medida</b>	Medida Habilitadora
<b>Objetivo</b>	Estimar la demanda energética futura frente a distintos escenarios climáticos, para considerarla en la planificación energética.
<b>Descripción</b>	El aumento de las temperaturas producto del cambio climático y una mayor ocurrencia de eventos extremos como las olas de calor, determinarán cambios en el comportamiento la demanda de energía.  Frente a estos escenarios se espera que aumente la demanda de energía por climatización y refrigeración, pudiendo provocar problemas en el suministro de energía en el país.
<b>Acciones</b>	Realizar un estudio de proyección de la demanda energética considerando los impactos del cambio climático.
<b>Periodo de implementación</b>	2019-2020
<b>Indicador de seguimiento</b>	Estudio elaborado.
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Academia, sector privado, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), entre otras instituciones.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

Medida 7	
<b>Nombre de la Medida</b>	Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria, para reducir el consumo de energía por aumento de temperaturas.
<b>Tipo de medida</b>	Medida de Acción
<b>Objetivo</b>	Fomentar que las empresas con grandes consumos de energía incorporen a sus procesos los sistemas de gestión de la energía, que les permitan reducir y modular sus consumos energéticos.
<b>Descripción</b>	En tiempos de olas de calor, la demanda de energía por climatización es alta y puede llevar a un problema en el suministro de energía en el país.
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Suscribir acuerdos voluntarios con los grandes consumidores de energía, para que identifiquen, a través de auditorías, sus oportunidades de mejora, con énfasis en sistemas de enfriamiento, e implementen sistemas de gestión de la energía.</li> <li>2) Avanzar en una regulación que establezca ciertas obligaciones a los grandes consumidores respecto de realizar una gestión permanente de la energía, considerando los impactos esperados y observados del cambio climático.</li> <li>3) Estudiar el establecimiento de estándares mínimos de Eficiencia Energética para equipos que tengan alto consumo de energía, con énfasis en equipos de climatización.</li> <li>4) Desarrollar una campaña de información para sensibilizar e informar a los actores claves.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	5 años
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Convenios suscritos.</li> <li>2) Ante proyecto de ley elaborado.</li> <li>3) Estudios de estándares mínimos elaborados.</li> <li>4) Campaña de información implementada.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Agencia de Sostenibilidad Energética; Corporación de Fomento de la Producción (CORFO); sector privado.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

Medida 8	
<b>Nombre de la Medida</b>	Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por aumento de temperaturas.
<b>Tipo de medida</b>	Medida de Acción
<b>Objetivo</b>	Reducir la demanda de energía por temperaturas extremas en edificaciones del sector público.
<b>Descripción</b>	El sector público puede participar como actor activo en la reducción del consumo energético en tiempos de temperaturas extremas, a través de la implementación de programas de mejoramiento de la eficiencia energética en las edificaciones. Estos programas incluyen fomento a la reconversión energética y uso eficiente y sostenible de edificaciones; caracterización y gestión de indicadores; actualización y reconversión tecnológica del alumbrado público; y sustitución de equipos de climatización de baja eficiencia, eficiencia energética en iluminación en entidades públicas (centros hospitalarios, colegios, municipios, entre otros).
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) A partir de la información entregada por el Programa de Mejoramiento de la Gestión (PMG) de Eficiencia Energética (EE), identificar los potenciales de EE en infraestructura del sector público y los principales centros de consumo, especialmente orientado a los impactos por temperaturas extremas.</li> <li>2) A partir de la plataforma Gestiona Energía, apoyar a los servicios públicos a identificar mejoras de EE y realizar procesos de licitación para su implementación.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	3 años
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Identificación de potenciales realizado.</li> <li>2) Programa operativo.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Agencia de Sostenibilidad Energética
<b>Otros aspectos relevantes</b>	Esta medida es coherente con el Plan de Adaptación de Ciudades.

**Lineamiento de Acción 4.** Arreglos institucionales y alianzas intersectoriales en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático.

<b>Medida 9</b>	
<b>Nombre de la medida</b>	Coordinación institucional en los distintos niveles territoriales, para impulsar la adaptación al cambio climático del sector energético.
<b>Tipo de medida</b>	Medida de fortalecimiento y coordinación institucional.
<b>Objetivo</b>	Integrar los impactos del cambio climático en la toma de decisiones relativa al ámbito energético.
<b>Descripción</b>	<p>Actualmente, el Ministerio de Energía a través de sus distintas Divisiones y Seremías, está llevando a cabo políticas y estrategias energéticas a nivel nacional, regional y local, sin considerar los posibles impactos del cambio climático.</p> <p>Tomando en cuenta que los impactos del cambio climático se perciben a nivel local, pero que el fortalecimiento de la resiliencia del sector implica una toma de decisiones en los distintos niveles territoriales, se requiere avanzar hacia una mirada conjunta respecto de los impactos, acciones e instrumentos de política necesarios para abordarlos.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) A nivel nacional, fomentar la participación del sector energía en mesas de trabajo intersectoriales donde se analice la adaptación al cambio climático y a nivel regional y local, fomentar la participación del sector energético en los Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC).</li> <li>2) Elaborar las bases de información.</li> <li>3) Elaborar protocolos de trabajo.</li> <li>4) Realizar capacitaciones a nivel nacional, regional y local para presentar bases de información y protocolos de trabajo.</li> <li>5) Establecer un equipo de apoyo permanente para ser contactado por los actores públicos, en caso de surgir requerimientos o dudas de las partes interesadas.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	2018-2023
<b>Indicadores de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Participación del sector energético en mesas de trabajo intersectoriales, Comisiones Regionales de Desarrollo Energético y CORECC.</li> <li>2) Bases de información elaboradas.</li> <li>3) Protocolo de trabajo elaborado.</li> <li>4) Capacitaciones realizadas.</li> <li>5) Equipo de apoyo operativo.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE), SEREMIAS de Energía.
<b>Colaboradores</b>	Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE), entre otros organismos.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

Medida 10	
<b>Nombre de la Medida</b>	Coordinación público-privada.
<b>Tipo de medida</b>	Medida de fortalecimiento y coordinación institucional.
<b>Objetivo</b>	Desarrollar e intercambiar información sobre impactos y experiencias exitosas en la gestión de la oferta, transporte y demanda de energía, para aumentar la capacidad adaptativa del sector energía.
<b>Descripción</b>	<p>Además de la información generada y recolectada por el sector público, la experiencia e información monitoreada y recolectada por el sector privado respecto al comportamiento de los distintos componentes del sector energía y su experiencia en la adopción de medidas de adaptación, es sumamente relevante para la toma de decisiones en materia de planificación para la adaptación al cambio climático del sector energético.</p> <p>Las empresas de generación y transporte de energía están evidenciando los impactos del cambio climático en sus actividades, por lo tanto el sector privado es un actor clave tanto en el diagnóstico de los impactos del cambio climático en el sector energía como en la implementación de medidas de adaptación.</p> <p>En este contexto se deben analizar formas de articulación del sector público con el sector privado y la sociedad civil (ej. consejos público-privado territoriales) junto con instrumentos e incentivos de colaboración entre sectores, tomando en cuenta las necesidades, estandarización y divulgación de información, que considere la reserva necesaria de información estratégica de las empresas, pero que se haga cargo de los requerimientos del país en materia de Adaptación.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Analizar mecanismos que fomenten el trabajo colaborativo entre el sector público y privado, incluyendo el acceso a información sobre acciones de adaptación exitosas.</li> <li>2) Identificar la información existente y las brechas de información, tanto en el ámbito público como privado respecto de los impactos del cambio climático y sus posibles respuestas o medidas de adaptación en los distintos subsectores.</li> <li>3) Elaborar estudios específicos para cubrir las brechas de información.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	5 años
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Mecanismo establecido y operativo.</li> <li>2) y 3) Estudios elaborados.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE), SEREMIAS de Energía.
<b>Colaboradores</b>	Organizaciones privadas relacionadas con el sector energético
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

<b>Medida 11</b>	
<b>Nombre de la Medida</b>	Fortalecer la planificación y gestión del riesgo en el sector energía ante eventos extremos.
<b>Tipo de medida</b>	Medida de Acción
<b>Objetivo</b>	Aumentar la capacidad de planificación y respuesta ante eventos extremos producto del cambio climático que afectan al sector energía.
<b>Descripción</b>	<p>Una buena coordinación y comunicación entre las instituciones clave resulta fundamental para dar una respuesta adecuada y en tiempos adecuados, ante cortes de suministro producto de eventos extremos.</p> <p>Se requiere avanzar en el desarrollo de protocolos para actuar ante este tipo de emergencias, incluyendo la necesidad de identificar responsabilidades y formas de actuar por parte de los organismos involucrados.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Trabajar con las instituciones clave del sector público y privado que tienen incidencia en la gestión de riesgo, a través de la participación en mesas de trabajo existentes o la creación de nuevas instancias de coordinación.</li> <li>2) Realizar un análisis de la normativa y procedimientos existentes, identificando brechas para una buena capacidad de respuesta ante eventos extremos.</li> <li>3) Actualizar los protocolos de coordinación y capacidad de respuesta ante eventos extremos con la información recabada.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	5 años
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Participación en mesas u otras instancias de trabajo.</li> <li>2) Análisis de la normativa realizado.</li> <li>3) Actualización de protocolos.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Comisión Nacional de Energía (CNE), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), Ministerio del Interior y Seguridad pública y empresas privadas del sector eléctrico.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

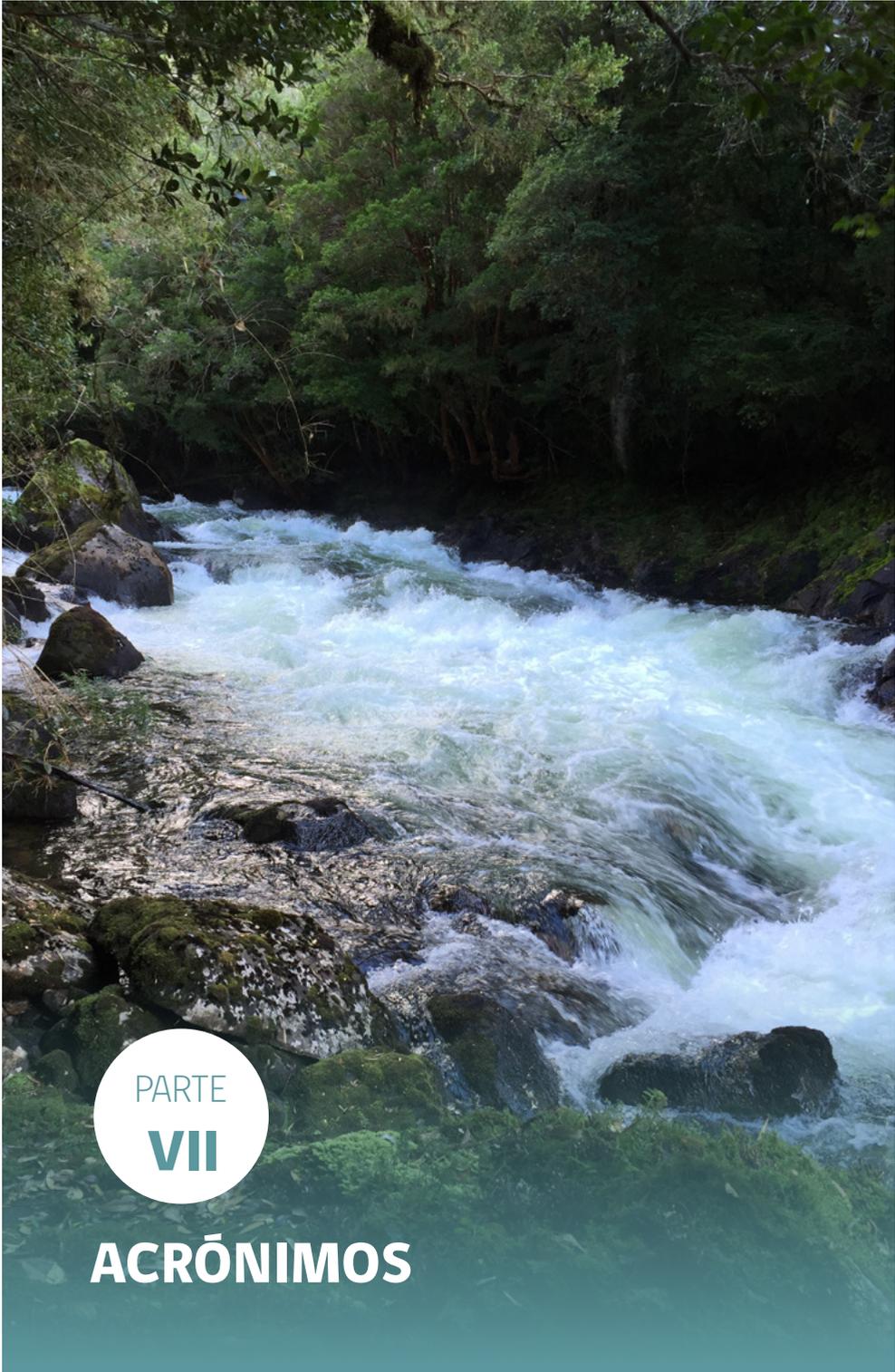
Medida 12	
<b>Nombre de la Medida</b>	Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética.
<b>Tipo de medida</b>	Medida Fortalecimiento y Coordinación Institucional
<b>Objetivo</b>	Aumentar la resiliencia energética a nivel local.
<b>Descripción</b>	<p>La estrategia energética local (EEL) y el programa respectivo de las comunas que participan en el programa "Comuna Energética" del Ministerio de Energía, son instrumentos importantes a nivel local. Actualmente, estos instrumentos no incluyen la mirada de largo plazo de los impactos del cambio climático.</p> <p>La integración de la componente de vulnerabilidad y resiliencia permite complementar los instrumentos locales, con una mirada de reducir posibles riesgos por cambio climático.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realizar estudios o actividades pilotos en comunas energéticas seleccionadas, para identificar posibles riesgos frente al cambio climático.</li> <li>2) Integrar el concepto de vulnerabilidad y resiliencia al Programa Comuna Energética, en algunas de sus fases (Estrategia Energética Local, implementación de proyectos y/o Sello Comuna Energética).</li> </ol>
<b>Plazo</b>	2019-2023
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Estudios o pilotos realizados.</li> <li>2) Concepto de resiliencia integrado en alguna fase del Programa Comuna Energética.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Municipalidades, ONGs, Academia, entre otros.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-

Medida 13	
<b>Nombre de la Medida</b>	Integrar los impactos del cambio climático en la planificación de las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia energética.
<b>Tipo de medida</b>	Medida Habilitadora
<b>Objetivo</b>	Analizar de qué manera integrar los impactos del cambio climático en la planificación de las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia energética.
<b>Descripción</b>	<p>La integración del tema de adaptación en las políticas y regulaciones existentes es un punto clave para el éxito del plan. Algunos objetivos de esta medida son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporar de manera regular los impactos del cambio climático en la Planificación Energética de Largo Plazo, así como en los procesos de planificación de la transmisión eléctrica.</li> <li>- Incorporar la variable cambio climático en instrumentos de planificación territorial sectorial general, como por ejemplo, los Planes Energéticos Regionales (PER) u otros.</li> <li>- Incorporar la variable cambio climático en los procesos de evaluación ambiental de proyectos de inversión energética.</li> </ul>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Analizar la metodología de la planificación energética de largo plazo y planificación de la transmisión eléctrica, incluyendo la identificación de las brechas con respecto a la consideración de los impactos del cambio climático.</li> <li>2) Evaluar que tipo de regulación asociada al sector energía debiese ser renovada a la luz de los impactos del cambio climático.</li> <li>3) Elaborar opciones para responder a las brechas identificadas para una planificación más robusta.</li> <li>4) Considerar la metodología de planificación respectiva para integrar el aspecto de la vulnerabilidad al cambio climático.</li> <li>5) Informar y difundir entre los actores involucrados.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	2 años
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Análisis realizado.</li> <li>2) Medidas elaboradas.</li> <li>3) Procedimientos de planificación energética adaptados.</li> <li>4) Capacitaciones e informaciones realizadas.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE), Comisión Nacional de Energía (CNE).
<b>Colaboradores</b>	Ministerio del Medio Ambiente (MMA).
<b>Otros aspectos relevantes</b>	Esta medida es complementaria a las medidas 10, 11 y 12.

Medida 14	
<b>Nombre de la Medida</b>	Contribuir a la inclusión del análisis del impacto del cambio climático en la evaluación de proyectos energéticos en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA).
<b>Tipo de medida</b>	Medida Habilitadora
<b>Objetivo</b>	Aumentar la prevención y capacidad adaptativa del sistema energético.
<b>Descripción</b>	<p>Actualmente, el análisis de los proyectos sometidos al Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA) se orienta a condiciones actuales o históricas y no incluye consideraciones respecto a vulnerabilidad y resiliencia frente al cambio climático.</p> <p>El riesgo ambiental generado por los posibles daños a la infraestructura energética producto de posibles eventos climáticos extremos, pone de manifiesto la importancia de incorporar este análisis en la línea base de los proyectos energéticos, de forma que se consideren diseños robustos y medidas de mitigación adecuadas ante estos nuevos escenarios.</p>
<b>Acciones</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Analizar metodologías para incluir el análisis del impacto del cambio climático en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA).</li> <li>2) Analizar una estrategia para promover cambios en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, a objeto de integrar la vulnerabilidad al cambio climático.</li> <li>3) Informar y capacitar a los evaluadores, empresas energéticas y consultoras claves.</li> </ol>
<b>Plazos</b>	2020-2023
<b>Indicador de seguimiento</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Análisis realizado.</li> <li>2) Estrategia desarrollada.</li> <li>3) Capacitaciones realizadas.</li> </ol>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), instituciones sectoriales con competencia ambiental, empresa privada.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	La actividad 3 de esta medida está relacionada con el lineamiento de acción 5.

**Lineamiento de Acción 5.** Capacidades técnicas a la vanguardia y difusión del Plan.

<b>Medida 15</b>	
<b>Nombre de la Medida</b>	Generar capacitaciones y elaborar una estrategia comunicacional de largo plazo que permita la difusión y acompañe la implementación del Plan de Adaptación.
<b>Tipo de medida</b>	Medida Fortalecimiento y Coordinación Institucional
<b>Objetivo</b>	Difundir los avances del plan de adaptación y fortalecer las capacidades en materia de adaptación al cambio climático en el sector energía.
<b>Descripción</b>	<p>La comunicación de los avances del plan de adaptación del sector energía es clave para el logro de sus objetivos propuestos ya que por un lado contribuye a la difusión de la información disponible respecto de los impactos locales y respecto al avance de en materia de implementación de medidas, lo que permite sensibilizar a los distintos sectores de la población en torno a las oportunidades y amenazas del cambio climático en el sector, como también para generar sinergias para el desarrollo y movilización de información y nuevas medidas.</p> <p>Entre los mecanismos que se evaluarán dentro de la estrategia comunicacional, se encuentran: difusión de información en la página web del Ministerio de Energía sobre el avance del plan de adaptación y la implementación de medidas; desarrollo de una plataforma de información sobre el cambio climático y sus impactos en el sector energía, así como posibles medidas, experiencias existentes, etc.; desarrollo de newsletter sobre las actividades del Ministerio en la temática, campañas de información respecto del impacto del cambio climático en el sector energía y medidas de adaptación exitosas a través de videos explicativos, talleres y charlas para los actores involucrados y el público interesado, entre otras.</p>
<b>Acciones</b>	<p>1) Definir una estrategia de comunicación del plan de adaptación.</p> <p>2) Implementar y hacer seguimiento a la estrategia de comunicación.</p>
<b>Plazos</b>	<p>2018: Definición de la estrategia de comunicación.</p> <p>2018-2023: Implementación y seguimiento de las acciones contenidas en la estrategia de comunicación.</p>
<b>Indicador de seguimiento</b>	<p>1) Documento de la estrategia elaborado.</p> <p>2) Medios de la estrategia implementados y en funcionamiento.</p>
<b>Responsables</b>	Ministerio de Energía (MdE).
<b>Colaboradores</b>	Por definir. Se espera generar alianzas con sectores tanto públicos como privados para la materialización de la estrategia.
<b>Otros aspectos relevantes</b>	-



PARTE

**VII**

# ACRÓNIMOS

<b>A</b>	<b>A</b>	Medidas de Acción
	<b>ADB</b>	Asian Development Bank
	<b>AR5</b>	Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)
<b>C</b>	<b>CMP</b>	Crecida máxima probable
	<b>CNE</b>	Comisión Nacional de Energía
	<b>CONAF</b>	Corporación Nacional Forestal
	<b>CORECC</b>	Comisiones Regionales de Cambio Climático
	<b>CORFO</b>	Corporación de Fomento de la Producción
	<b>CPR</b>	Sector Comercial, Público, y Residencial
	<b>CR2</b>	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
	<b>CSP</b>	Concentración Solar de Potencia
	<b>D</b>	<b>DGA</b>
<b>DMC</b>		Dirección Meteorológica de Chile
<b>E</b>		
<b>E</b>	<b>EE</b>	Eficiencia Energética
	<b>EEL</b>	Estrategia Energética Local
	<b>ENAP</b>	Empresa Nacional del Petróleo
	<b>ENCCRV</b>	Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales
	<b>ER</b>	Energía Renovable
<b>F</b>	<b>FCI</b>	Medidas de Fortalecimiento y Coordinación Institucional
	<b>FR</b>	Forzamiento Radiativo
	<b>FV</b>	Fotovoltaica
<b>G</b>	<b>GCMs</b>	General Circulatoria Moderada
	<b>GNL</b>	Gas Natural Licuado
<b>H</b>	<b>H</b>	Medidas habilitadoras
	<b>I</b>	
<b>I</b>	<b>IDE</b>	Infraestructura de Datos Geoespaciales
	<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
	<b>L</b>	
<b>L</b>	<b>LA</b>	Lineamiento de Acción
	<b>MCG</b>	Modelos de circulación general
	<b>MdE</b>	Ministerio de Energía
	<b>MINVU</b>	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
	<b>MMA</b>	Ministerio del Medio Ambiente
	<b>MOP</b>	Ministerio de Obras Públicas
	<b>N</b>	
<b>N</b>	<b>NDC</b>	Contribución Nacionalmente Determinada
	<b>NMM</b>	Nivel Medio del Mar
<b>O</b>	<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
	<b>ONEMI</b>	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública



<b>O P</b>	<b>ONGs</b>	Organizaciones No Gubernamentales	
	<b>PANCC</b>	Plan de Acción Nacional de Cambio Climático	
	<b>PELP</b>	Planificación Energética de Largo Plazo	
	<b>PEN</b>	Política Energética Nacional 2050	
	<b>PMG</b>	Programa de Mejoramiento de Gestión	
	<b>PMP</b>	Precipitación máxima probable	
	<b>PNACC</b>	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático	
	<b>PP</b>	Precipitación	
	<b>Q R S</b>	<b>Q</b>	Caudal
		<b>RCP</b>	Representative Concentration Pathways
<b>SEA</b>		Sistema Eléctrico de Aysén	
<b>SEA</b>		Servicio de Evaluación Ambiental	
<b>SEC</b>		Superintendencia de Electricidad y Combustible	
<b>SEIA</b>		Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	
<b>SEN</b>		Sistema Eléctrico Nacional	
<b>SEM</b>		Sistema Eléctrico de Magallanes	
<b>SEREMIAS</b>		Secretarías Regionales Ministeriales	
<b>SERNAGEOMIN</b>		Servicio Nacional de Geología y Minería	
<b>SHOA</b>		Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada	
<b>SIC</b>		Sistema Interconectado Central	
<b>SING</b>		Sistema Interconectado del Norte Grande	
<b>SRES</b>		Informes especiales sobre escenarios de emisiones	
<b>SUBDERE</b>		Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	
<b>T</b>		<b>Tcal</b>	Teracaloría
	<b>TD</b>	Tendencia Desconocida	
	<b>T&amp;D</b>	Transmisión y Distribución	
<b>V</b>	<b>T°</b>	Temperatura	
	<b>VF</b>	Ventana futura	



PARTE  
**VIII**

# BIBLIOGRAFÍA

- AdaptChile (2016). Definición de indicadores de cambio climático y del proceso de adaptación. Obtenido de <http://www.adapt-chile.org/esp/definicion-de-indicadores-de-cambio-climatico-y-del-proceso-de-adaptacion/>
- Asian Development Bank (2012). Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector. Obtenido de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2012/12152.pdf>
- Boisier, J. *et al* (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. Obtenido de Geophysical Research Letter. 43(1), pp 413-421: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015GL067265/full>
- Carrasco J. *et al* (2008). Secular trend of the equilibrium line altitude in the western side of the southern Andes derived from radiosonde and surface observations. Obtenido de Journal of Glaciology, 54(186), 538-550: [ftp://ftp.bpcrc.osu.edu/downloads/outreach/2011\\_Plagos\\_Review/Carrasco-et-al\\_JOG2008.pdf](ftp://ftp.bpcrc.osu.edu/downloads/outreach/2011_Plagos_Review/Carrasco-et-al_JOG2008.pdf)
- Climate Diplomacy (2016). Climate Change and Mining: A Foreign Policy Perspective. Obtenido de <https://www.climate-diplomacy.org/publications/climate-change-and-mining-foreign-policy-perspective>
- Colbún (2017). Memoria Anual Integrada Colbún 2016. Obtenido de [https://www.colbun.cl/wp-content/uploads/2017/07/memoria\\_colbun\\_2017\\_abril.pdf](https://www.colbun.cl/wp-content/uploads/2017/07/memoria_colbun_2017_abril.pdf)
- CONAF (2016). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025. Obtenido de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/doc/ENCCRV-2017-2025-web.pdf>
- CR2 (2015). Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Obtenido de <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>
- DGF (2009). Impacto del Cambio Climático en el Siglo XXI sobre los Recursos Hídricos de las Cuencas del Maipo y Mapocho (RG-K1049).
- DMC (2014). Análisis de los Resultados Convenio Alta Dirección Pública. Director. Dirección Meteorológica de Chile. Objetivo N°3, Obtenido de <http://archivos.meteochile.gob.cl/portaldmc/meteochile/documentos/SintesisInformeClima.pdf>
- Ebinger, J. & W. Vergara (2011). Climate Impacts on Energy Systems. key issues for energy sector adaptation. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/580481468331850839/pdf/600510PUB0ID181mpacts09780821386972.pdf>
- EBP *et al* (2018). Elaboración del Borrador del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía.

Falvey, M. & R. Garreaud (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). Obtenido de *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 114(D4): <http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/ttrend.pdf>

Girardi, D. *et al* (2015). Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español. Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía. Preparado por el IIT para la oficina Española de Cambio Climático. Obtenido de <https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-15-169A.pdf>

Gobierno de Chile (2012). Estrategia Nacional de Energía 2012-2030. Obtenido de [http://www.crdp.cl/biblioteca/energia/Energia\\_para\\_el\\_Futuro.pdf](http://www.crdp.cl/biblioteca/energia/Energia_para_el_Futuro.pdf)

Gobierno de Chile (2014). Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad. Obtenido de [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55879\\_Plan\\_Adaptacion\\_CC\\_Biodiversidad\\_Final.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55879_Plan_Adaptacion_CC_Biodiversidad_Final.pdf)

INFOR (2011). Impacto del Cambio Climático en el Sector Forestal. Seminario Cambio Climático, impactos y oportunidades en el sector silvoagropecuario. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/Noticias/ImpactodelCambioClimaticoenelSectorForestal.pdf>

IPCC (2014). Informe de síntesis. Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II, y III. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

Lagos, M. (2012). Impacto del cambio climático en eventos extremos y análisis de la vulnerabilidad de algunas obras hidráulicas en Chile. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112051/cf-lagos\\_mz.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112051/cf-lagos_mz.pdf?sequence=1)

Lara, A. *et al* (2009). Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. Obtenido de *Forest Ecology and Management* 258: 415-424: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709000036>

Little, C. *et al* (2009). Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. Obtenido de *Journal of Hydrology*, Volume 374, Issues 1-2, Pages 162-170: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409003345>

MAPS-Chile (2016a). Análisis de co-impactos: Resultados Paneles de Expertos - Sector Residencial y Residuos. Ministerio del Medio Ambiente y Gobierno de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de [http://www.mapschile.cl/wp-content/uploads/2014/10/co-impactos\\_residencial\\_residuos\\_mapschile\\_2016.pdf](http://www.mapschile.cl/wp-content/uploads/2014/10/co-impactos_residencial_residuos_mapschile_2016.pdf)

MAPS-Chile (2016b). Análisis de co-impactos: Resultados Paneles de Expertos - Sector Industria y Minería. Ministerio del Medio Ambiente y Gobierno de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de [http://www.mapschile.cl/wp-content/uploads/2014/10/co-impactos\\_IM\\_mapschile\\_2016.pdf](http://www.mapschile.cl/wp-content/uploads/2014/10/co-impactos_IM_mapschile_2016.pdf)

McPhee, J. *et al* (2010). An Approach to Estimating Hydropower Impacts of Climate Change from a Regional Perspective. Obtenido de *Watershed Management* 2010: pp. 13-24: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41143%28394%292>

Ministerio de Energía (2011). Selección y aplicación de un modelo hidrológico para estimar los impactos del cambio climático en la generación de energía del sistema interconectado central. Obtenido de [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/40.Informe\\_Final\\_rev\\_B\(1163\).pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/40.Informe_Final_rev_B(1163).pdf)

Ministerio de Energía. (2015). Energía 2050, Política Energética de Chile. Obtenido de [http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia\\_2050\\_-\\_politica\\_energetica\\_de\\_chile.pdf](http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf)

Ministerio de Energía (2016a). Estudio de cuencas. Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule. Biobío. Toltén. Valdivia. Bueno. Puelo. Yelcho. Palena. Cisnes. Aysén. Baker y Pascua. Obtenido de [http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estudio\\_de\\_cuencas\\_2.pdf](http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_de_cuencas_2.pdf)

Ministerio de Energía (2016b). Determinación del impacto del cambio climático en el potencial esperado de generación hidroeléctrica en cuenca o subcuencas del río Maule. Elaborado por Eridanus Ltda. Obtenido de [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20-%20MENR-15-001.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20-%20MENR-15-001.pdf)

Ministerio de Energía (2017a). Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Obtenido de <http://pelp.minenergia.cl/informacion-del-proceso/resultados>

MMA (2014a). Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad. Obtenido de [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55879\\_Plan\\_Adaptacion\\_CC\\_Biodiversidad\\_Final.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55879_Plan_Adaptacion_CC_Biodiversidad_Final.pdf)

MMA (2014b). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>.

MMA (2016). Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Obtenido de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/doc/TCN-2016b1.pdf>

MMA (2017a). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Obtenido de [http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf)

Pryor, S. C. & R. Barthelmie (2010). Climate change impacts on wind energy: A review. Obtenido de Renewable and sustainable energy reviews, 14(1), 430-437: [https://econpapers.repec.org/article/eeeerensus/v\\_3a14\\_3ay\\_3a2010\\_3ai\\_3a1\\_3ap\\_3a430-437.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeerensus/v_3a14_3ay_3a2010_3ai_3a1_3ap_3a430-437.htm)

PWC (2009). Efectos del cambio climático sobre la industria vitivinícola de Argentina y Chile. Obtenido de <https://www.pwc.com/cl/es/publicaciones/assets/industria-vitivinicola-de-chile-y-argentina.pdf>

Rojas, M. (2012). Estado del Arte de Modelos para Investigación del Calentamiento Global. Obtenido de [ftp://cr2.cl/pub/maisa/MAPS/MAPS\\_MRojas\\_Informe\\_Final.pdf](ftp://cr2.cl/pub/maisa/MAPS/MAPS_MRojas_Informe_Final.pdf)

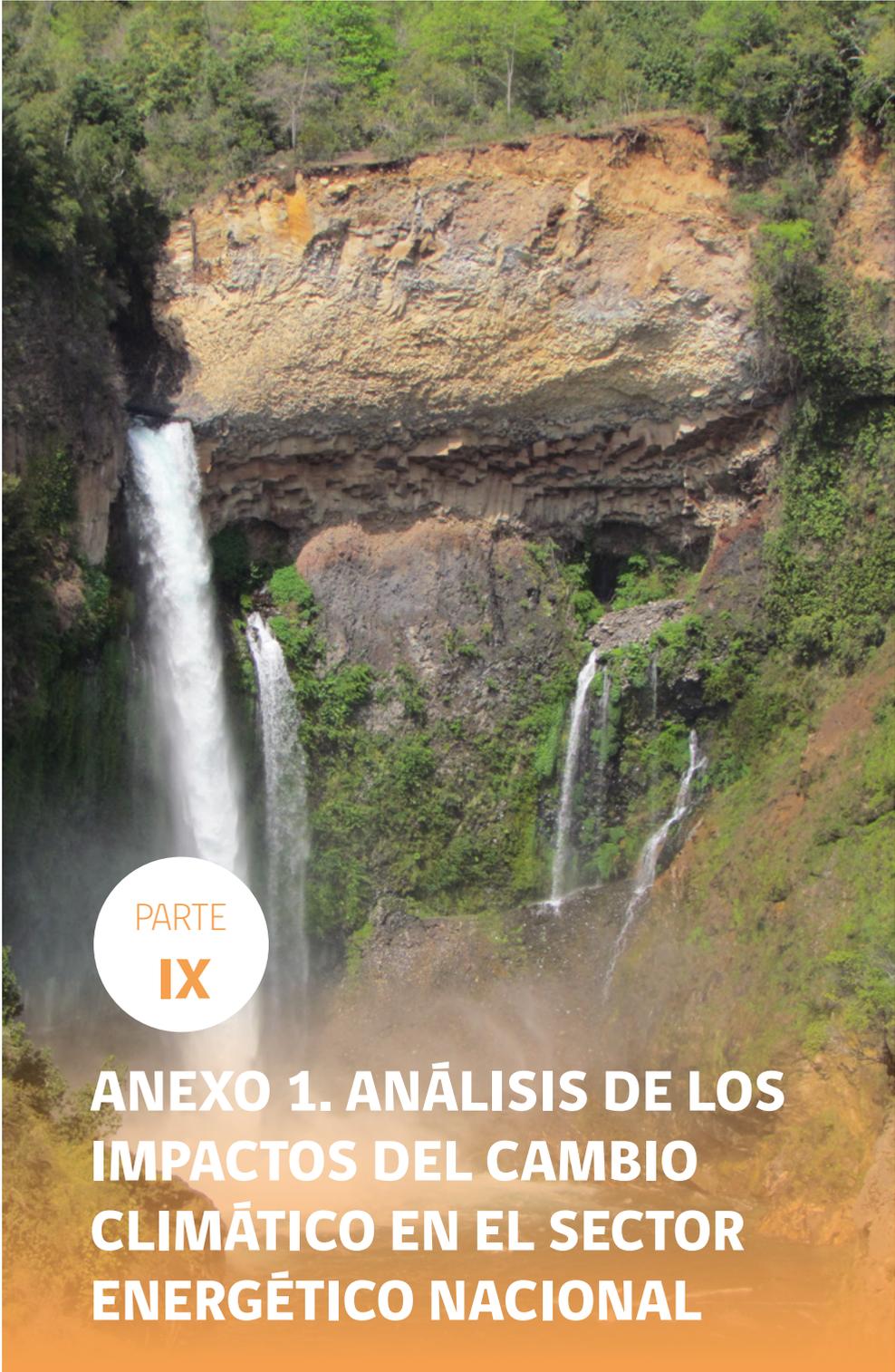
Romero, N. (2011). Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104235>

Schaeffer, R. *et al* (2012). Energy sector vulnerability to climate change: a review. Obtenido de Energy. 38(1). 1-12: [https://econpapers.repec.org/article/eeeenergy/v\\_3a38\\_3ay\\_3a2012\\_3ai\\_3a1\\_3ap\\_3a1-12.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeeenergy/v_3a38_3ay_3a2012_3ai_3a1_3ap_3a1-12.htm)

Schneider, K. (2017). Water-Energy Nexus in the Himalayas. In Water, Security and US Foreign Policy, First Edition. Obtenido de <https://www.worldwildlife.org/publications/water-security-and-u-s-foreign-policy>

Sernageomin (2015). Primer catastro de desastres naturales por peligros geológicos en Chile. Obtenido de <http://www.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Primer-Catastro-Nacional-Desastres-Naturales.pdf>

Vuille. M., Franquis. E., Garreaud. R., Lavado Casimiro. W., & Cáceres. B.*et al* (2015). Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. Obtenido de Journal of Geophysical Research. 120: [http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/Andean\\_T\\_trend\\_2015.pdf](http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/Andean_T_trend_2015.pdf)



PARTE  
**IX**

# ANEXO 1. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ENERGÉTICO NACIONAL

En esta sección se presentan los resultados de la identificación de los impactos que afectan al sector energía, provenientes del estudio denominado Elaboración del Borrador del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía (EBP *et al*, 2018), el cual tomó en cuenta la información técnica existente tanto a nivel nacional (basada en referencias nacionales de estudios oficiales de instituciones públicas, universidades o centros de investigación) como internacional, considerando los cambios en las principales variables físicas como amenaza del sector.

## 9.1 IMPACTOS SOBRE LA OFERTA DE ENERGÍA

### 9.1.1 Impactos sobre los recursos energéticos

#### Recurso Agua

El recurso energético agua es el más estudiado a nivel nacional, desde la región de Coquimbo hacia el sur, con proyecciones de impacto del cambio climático futuro en la disponibilidad del recurso hídrico. A continuación, se examinan los resultados para cada variable de interés.

#### Temperatura

El aumento de temperatura afectará la elevación de la isoterma 0°C, lo que conlleva impactos en la capacidad de almacenamiento nival y una disminución de la escorrentía estival (Ministerio de Energía 2011 y 2016).

El aumento de temperaturas medias también significará un derretimiento de glaciares (Carrasco *et al*, 2008; Falvey & Garreaud, 2009). Se destaca también los impactos en aumentos

de evaporación desde reservorios (Schaeffer *et al*, 2012), cuerpos de agua naturales y artificiales y adicionalmente se espera un incremento de la demanda de agua por el aumento de la evapotranspiración de ecosistemas naturales y cultivos (Gobierno de Chile, 2014; PWC, 2009).

#### Precipitación

Analizando las estimaciones de variación en 16 cuencas del SIC, estudiadas localmente por el Ministerio de Energía (2011), se puede observar una reducción de la precipitación para todos los meses en todos los sistemas estudiados, lo que conlleva a una disminución en la disponibilidad hídrica superficial y subterránea. Sin embargo, la magnitud y dispersión de esta disminución presenta una variación con la latitud y también con los meses de máxima precipitación. En el norte existe más incertidumbre, con estadística observada más

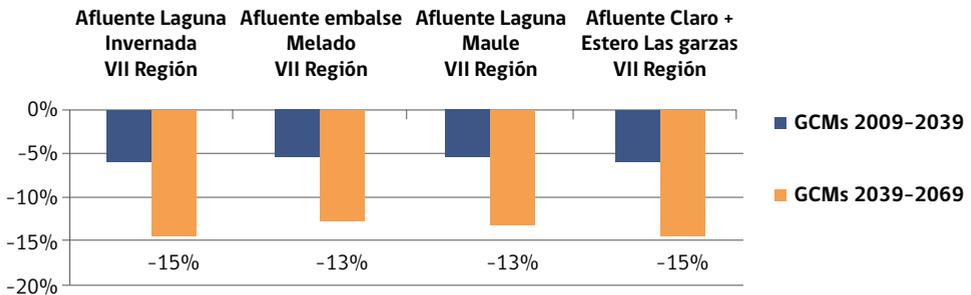
incompleta, pero también con comportamientos muy disímiles por temporadas.

Aparte de las reducciones observadas, la mayor variabilidad de la precipitación se presenta en los meses de invierno (junio, julio y agosto), tal como lo indican Cortés *et al* (2011) en el análisis de más de 40 estaciones de medición a lo

largo de la cordillera de los Andes (Ministerio de Energía, 2011).

A modo de ejemplo, en la Figura 8 se aprecia la disminución porcentual de la precipitación en cuatro sistemas estudiados en la cuenca del Maule, donde los resultados indican reducciones en la ventana futura lejana (2039–2069) de hasta 15% en las precipitaciones anuales.

**FIGURA 8.** Diferencias porcentuales entre precipitación anual por periodo o ventana futura, para todos los sistemas modelados en escenario RCP8.5.



Fuente: Ministerio de Energía, 2016b.

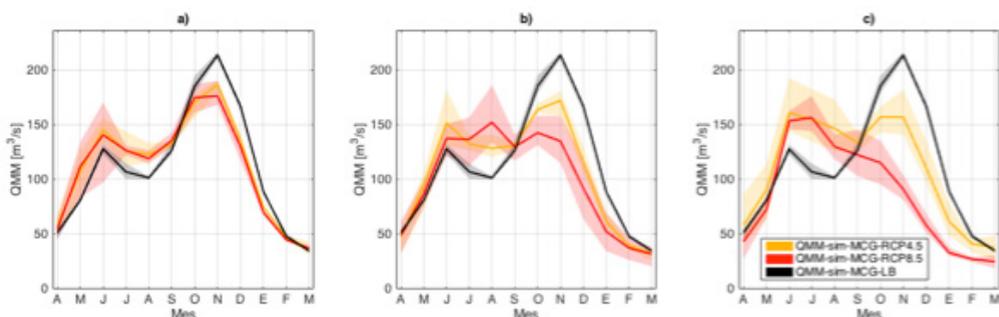
## Caudal

Se proyecta una reducción significativa de los caudales medios mensuales en las cuencas entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, mientras que en el extremo austral se espera un leve aumento de los caudales disponibles. Para el Norte Grande y Norte Chico, habría una mayor ocurrencia de períodos de escasez hídrica (MMA, 2016a) y en general, el menor almacenamiento nival futuro debido al aumento de temperaturas hacia la cordillera, afectará la estacionalidad de los caudales, disponiendo de menor

escorrentía en la temporada de deshielos, con una disminución general en escorrentía (Carrasco *et al*, 2008; Falvey & Garreaud, 2009; (Girardi *et al*, 2015).

En la cordillera de los Andes, los caudales tendrán dos impactos principales: una reducción de escorrentía y un posible cambio de régimen hidrológico. A modo de ejemplo, en la Figura 9 se presenta la variación futura de los caudales medios mensuales promedio del río Melado, ubicado en la cabecera del río Maule, para los RCP 4.5 y 8.5.

**FIGURA 9.** Comparación de los ensambles de caudales medios mensuales promedio de Melado, simulados en línea base y para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en las distintas ventanas futuras de tiempo<sup>11</sup>.



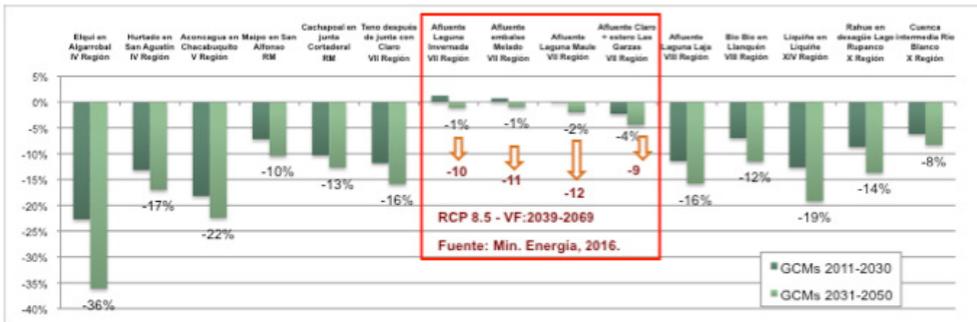
Fuente: Ministerio de Energía, 2016b.

12. La información se divide en a) VF1: Periodo 2009-2039, b) VF2: 2039-2069 y c) VF3: 2069-2099. La sombra denota el rango de variación entre los máximos y mínimos del ensamble de tres MCG.

La tendencia de todos los resultados indica que es esperable observar en el corto plazo una menor escorrentía en el periodo de deshielo, así como un incremento de la escorrentía de invierno. En el escenario RCP8.5 se proyecta la desaparición casi completa de la escorrentía de deshielo en la ventana futura 2069-2099, lo que indica que a futuro se espera un área nival mucho menor a la actual, pasando de un régimen nivo-pluvial a uno pluvio-nival (Ministerio de Energía, 2016b).

Impactos similares se aprecian en el estudio Ministerio de Energía (2011) donde los modelos de proyecciones muestran una reducción de los caudales para las ventanas de tiempo analizadas. Por ejemplo, para el periodo 2030-2050 se espera un rango de variación del orden del -36% a -1% (ver Figura 10), resultados para 16 cuencas desde la región de Coquimbo hasta la Araucanía).

**FIGURA 10.** Resumen de las diferencias porcentuales entre el caudal anual promedio por periodo, para todos los sistemas modelados en escenario A2 de los informes especiales sobre escenarios de emisiones (SRES)<sup>13</sup>.



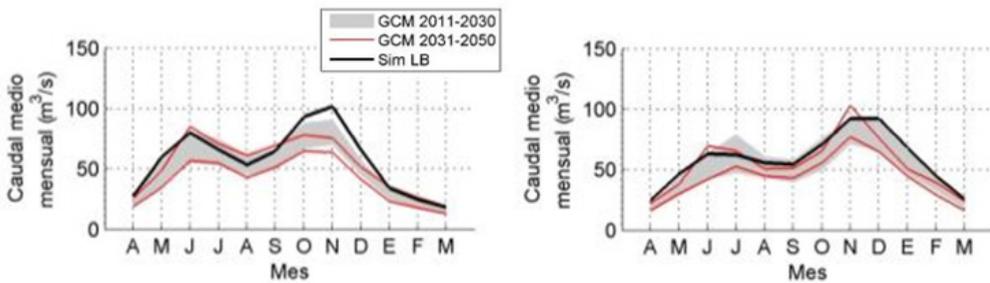
Fuente: Basado en Ministerio de Energía (2011). En recuadro rojo se compara con modelación para RCP8.5, en ventana 2039-2069, Ministerio de Energía (2016b).

13. Los Informes especiales sobre escenarios de emisiones (SRES) del IPCC, establecen los escenarios de concentración de emisiones de GEI del año 1992, presentando cuatro familias de trayectorias evolutivas de escenarios de emisiones al 2100, y, su análisis de impacto estimado en la temperatura de la superficie terrestre. Los escenarios de emisiones se definen combinando parámetros como son la población, economía, desarrollo alternativos de tecnología de energía, uso de la tierra, entre otros. Estos escenarios son los conocidos como A1, A2, B1 y B2, los que resultan en un aumento de la temperatura a fines de siglo entre  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  a  $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ .

Si bien los montos de precipitación determinan los volúmenes de escorrentía superficial, la temperatura determina la estacionalidad de los caudales. En ese sentido, las cuencas de cordillera, que poseen regímenes nivales o nivo-pluviales, se ven afectadas. Esto se aprecia claramente en las cuencas de Teno y Laja, donde la componente pluvial del hidrograma se ve escasamente afectada pero el máximo de la crecida de deshielo decrece en importancia y se adelanta en un mes (ver Figura 11).

La baja en la disponibilidad de agua y los cambios esperados en la estacionalidad de los caudales sugiere, al menos, la revisión de los mecanismos de operación del sistema hidroeléctrico y la evaluación de su desempeño en los nuevos regímenes hidrológicos. De particular interés son los sistemas de embalse, como Laja, Biobío y Maule, donde una correcta operación de sus compuertas puede significar un ahorro importante de energía y recursos hídricos.

**FIGURA 11.** Variación estacional del año promedio en línea base (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo). Figura izquierda: Cuenca Teno después de junta con Claro. Figura derecha: Cuenca Afluente Laguna Laja.



Fuente: Adaptado de Ministerio de Energía (2011).

## Eventos Extremos

El cambio climático afectará la frecuencia e intensidad de ocurrencia de distintos tipos de eventos extremos a nivel nacional, sin embargo, no todos impactarán en la disponibilidad de recursos hídricos (MMA, 2016a).

Eventos extremos asociados a la precipitación, analizados para escenarios SRES, en estaciones cerca de los embalses Colbún (Región del Maule) y Puclaro (Región de Coquimbo), revelan que las variaciones de la precipitación máxima probable (PMP) proyectan un incremento en la mediana de +11.9% para el escenario A2\*. Los percentiles 25% y 75% muestran variaciones de -8.95%, +58.92% respectivamente. Estos resultados se complementan con la variación esperada de la línea de nieves, cuya tendencia es a elevarse por sobre el promedio actual, aumentando así el área pluvial aportante de una cuenca (Lagos, 2012). Todo esto tiene un impacto en el comportamiento de crecidas, aumentando el riesgo de aluviones, remoción en masa e inundaciones, entre otros.

El comportamiento de crecidas de origen pluvial en cuencas nivales, como el principal evento extremo relacionado con los caudales, es dinámico y varía de tormenta en tormenta. A nivel nacional se estudiaron las crecidas milenarias, deca-milenarias y la crecida máxima probable (CMP) en el embalse Puclaro,

obteniendo que los incrementos más severos en caudales máximos instantáneos y volumen se dan en el escenario A2 (Lagos, 2012).

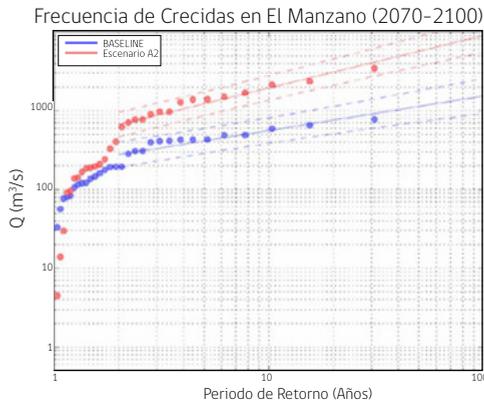
Por otra parte, DGF (2009) realizó un análisis de frecuencia de caudales máximos diarios, en la cuenca definida por la estación fluviométrica ubicada en el río Maipo en el Manzano, tanto en línea base como en el escenario A2, obteniendo cambios significativos a futuro, especialmente en caudales mayores a 2 años de periodo de retorno (T) (ver Figura 12). Por ejemplo, se espera que un caudal de T=10 años, igual a 550 m<sup>3</sup>/s aproximadamente, aumente paulatinamente su frecuencia de ocurrencia hasta aproximarse a una frecuencia de T=2 años; por otra parte, el caudal del período de retorno de 10 años aumentará hasta cerca de 2.000 m<sup>3</sup>/s en el escenario A2 (364% de aumento).

Por otro lado, la sequía como evento extremo se ha evidenciado fuertemente a nivel nacional. En la última sequía significativa sufrida en el país, se estimó que en el periodo 2010-2014, el déficit promedio de los caudales entre Coquimbo y Valparaíso alcanzó un máximo de 70%, reduciéndose hacia el sur a valores en torno al 25%. Al mismo tiempo, se produjo una reducción del área nival en las cuencas de montaña (CR2, 2015). Los períodos de sequía se apreciarán con mayor frecuencia en el futuro, lo que aumentará los conflictos por el agua.

---

\* A2: Escenario de mayores emisiones proyectadas.

**FIGURA 12.** Análisis de frecuencia de caudales máximos diarios en la cuenca Maipo en el Manzano. Círculos: "observaciones", líneas continuas: ajuste de Gumbel con parámetros medios; líneas segmentadas: ajuste de Gumbel con parámetros evaluados en límites de confianza.



Fuente: DGF, 2009.

### Recurso Solar

A nivel internacional, se estima que el cambio climático puede afectar la disponibilidad del recurso solar mediante cambios en el contenido de vapor de agua (humedad) en la atmósfera, en la cobertura nubosa y en las características de la nubosidad, todo lo cual afectaría la transmisividad atmosférica. Estos cambios podrían verse contrarrestados debido al potencial aumento de la radiación solar en determinadas zonas (Ebinger & Vergara, 2011).

A nivel nacional, la Universidad de Santiago se encuentra avanzando en un estudio donde han proyectado

el impacto del cambio climático bajo el escenario RCP4.5 sobre la radiación solar, para una muestra de 16 Modelos de Circulación General (MCG) para la ventana de tiempo 2046-2055. Los resultados indican un aumento del 1 al 3% por década en la zona centro y sur del país, hasta la región de los Lagos. Mientras que en la zona norte del país las variaciones son poco significativas, y en el extremo austral disminuye la radiación.

A pesar de la escasa información observada en redes de monitoreo local<sup>14</sup>, los resultados del estudio responden al análisis de las alteraciones esperadas en los patrones de nubosidad, mostrando

14. Actualmente, el Explorador Solar del Mde cuenta con información histórica de corta data (2004-2016), no obstante, si se desea proyectar el impacto del cambio climático y calibrarlo adecuadamente con las condiciones locales, se requiere una red de monitoreo que contemple un período más amplio (un mínimo de 25 años de registros). Actualmente, el explorador solar muestra la ubicación de 12 estaciones, donde Pozo Almonte presenta la mayor longitud de registro (2008-2017), existiendo otras con registros de distintas longitudes y/o actualmente suspendidas. Se menciona la existencia de 120 estaciones pertenecientes a organismos públicos y privados, pero no estuvieron disponibles para el explorador, y tampoco existe un diagnóstico de su longitud de registro y grado de completitud.

una tendencia que se debe considerar. Esto es consistente con la opinión experta que indica que disminuciones en la precipitación y los consecuentes incrementos en disponibilidad de cielos despejados, mejorarán la disponibilidad del recurso solar en la zona centro y centro-sur del país (en la zona norte las condiciones de base ya son excepcionales, por lo que los impactos serían imperceptibles).

### Recurso Viento

La literatura internacional indica que la velocidad y variabilidad del viento definen la factibilidad económica y fiabilidad de producción de energía eléctrica de una futura planta eólica, variables que dependen, a su vez, de las condiciones presentes y futuras del clima global. Cambios en la distribución geográfica y en patrones del viento, son los principales mecanismos a través de los cuáles el cambio climático impactará en la dotación de recursos eólicos (Ebinger & Vergara, 2011; Schaeffer *et al.*, 2012), los cuáles podrán conllevar a incrementos o disminuciones en la disponibilidad del recurso. En Chile, no existen estudios relacionados con los cambios proyectados en este recurso debido a variables climáticas. También se aprecia una escasa presencia nacional de estaciones de medición de la magnitud y dirección del viento.

### Recurso Biomasa

A nivel nacional, no existen estudios que cuantifiquen los impactos futuros del cambio climático en la disponibilidad y demanda de biomasa para generación eléctrica y uso final

en el sector industrial y residencial. Solo hay estudios que determinan que habrá una disminución de biodiversidad por precipitación.

Para el sector energético en Chile, se considera la biomasa nativa y forestal como fuente energética utilizada en la generación eléctrica y también como uso directo de combustible para generación de calor.

### Temperatura

A nivel internacional, se estima que los cambios proyectados en la temperatura alterarán la distribución actual de los cultivos forestales y especies nativas, así como cambios en la incidencia de pestes, la demanda evapotranspirativa y la disponibilidad de suelos (Ebinger & Vergara, 2011). A nivel nacional, se esperan impactos en la biodiversidad, en los rangos geográficos, actividades estacionales, abundancia e interacciones entre las especies (Gobierno de Chile, 2014; CONAF, 2016). Si bien se cuenta con el Explorador de Bionergía de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), con estimación del potencial de biomasa disponible para fines energéticos a nivel nacional, no se encontraron estudios nacionales que analicen impactos del cambio climático en la disponibilidad y demanda de biomasa exclusivamente como recurso energético. No obstante, sí existen estudios relativos al impacto en la oferta, específicamente en el rendimiento de la producción de biomasa en las plantaciones forestales.

Los cambios en rendimiento por hectárea esperados por rotación en escenario futuro A2, ventana 2070-2100, varían según especie y zona geográfica. Las especies que en la actualidad son el pilar de la industria forestal chilena, ven reducidos sus rendimientos futuros al final de cada rotación. El *Pinus radiata* disminuye su rendimiento entre las regiones del Maule y Araucanía, -8,6% a -1,6% respectivamente, con un aumento de 2,5% en la región de Los Ríos. El *Eucalyptus sp* disminuye su rendimiento desde -1,6% a -2,4% entre las regiones del Maule y Biobío, con un aumento desde 3% a 2% en las regiones de la Araucanía y Los Ríos, respectivamente. En general, los resultados indican un desplazamiento hacia el sur de las condiciones óptimas para algunas especies (INFOR, 2011).

En relación a los recursos forestales nativos, en Chile se han identificado los tres pisos vegetacionales más afectados por el futuro clima al año 2050, los que serían: (i) El bosque caducifolio templado-antiboreal andino de *Nothofagus pumilio* y *Maytenus disticha* (Racoma) de la Región de Magallanes y Antártica Chilena; (ii) El bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* (Roble de Santiago) y *Ribes punctatum* (Zarzaparrilla) de las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins y (iii) El bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis* (regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins) (CONAF, 2016).

## Precipitación

A nivel internacional, se estima que los cambios proyectados en la precipitación alterarán la distribución actual de los cultivos forestales y especies nativas, lo que también generará cambios en la incidencia de pestes, la demanda evapotranspirativa y la disponibilidad de suelos (Ebinger & Vergara, 2011). A nivel nacional, se espera una reducción de la precipitación, lo que conllevará a una menor recarga de acuíferos y disminución de los caudales, lo que a su vez incrementará la demanda por la protección del agua y afectará el rendimiento de los cultivos forestales. A nivel nacional también se esperan impactos sobre la biodiversidad, cambios en los rangos geográficos, actividades estacionales y sobre la abundancia e interacciones entre las especies (CONAF, 2016). No existen estudios nacionales que cuantifiquen estos impactos en la disponibilidad y demanda de biomasa específicamente como recurso energético.

## Caudal

La demanda pasiva de agua del sector forestal ha sido bien investigada en Chile. Por ejemplo, Lara *et al.* (2009) estimó un incremento promedio del 14% en la escorrentía total de verano, por cada 10% de aumento en la cobertura de bosque nativo de una cuenca. El mismo incremento de superficie ocupada (10%) por plantaciones de *Eucalyptus spp.* y *Pinus radiata* reduce la escorrentía total en un 20%. Little *et al.* (2009) también reporta descensos en la escorrentía debido al cambio de

uso de suelos, en el cual se reduce la cobertura de bosque nativo y se incrementa proporcionalmente la presencia de plantaciones forestales, principalmente compuestas por *Pinus radiata*. En consecuencia, se espera que la reducción de caudales incremente la demanda por la protección del agua. No existen estudios nacionales que cuantifiquen los impactos futuros del caudal en la disponibilidad y demanda de biomasa para generación eléctrica y uso final en el sector industrial y residencial.

### Eventos Extremos

A nivel internacional, la producción eléctrica basada en biomasa es afectada por eventos extremos severos, tales como sequías, temperaturas extremas, inundaciones, fuertes vientos e incendios forestales. Estos eventos impactan directamente en la disponibilidad de biomasa (Asian Development Bank, 2012). Para Chile se espera un incremento de la demanda por la protección del agua, debido al aumento de las temperaturas extremas, olas de calor y mayor frecuencia de sequías. Estos eventos extremos también pueden influir en una mayor frecuencia y magnitud de incendios forestales a futuro, afectando la producción de biomasa y aumentando el costo de los seguros (operación). Cabe señalar que el efecto de la sequía a nivel nacional indica que aproximadamente el 72% de las tierras del país tiene algún grado de sequía en sus diferentes categorías (leve, moderado, grave), que corresponden aproximadamente a 55 millones de hectáreas (CONAF, 2016).

Cambios en la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos podrían modificar la extensión y emplazamiento de los ecosistemas, cuya estructura y funcionalidad deberá adaptarse a unas nuevas condiciones climáticas, diferentes a las actuales. Los impactos del cambio climático sobre 36 ecosistemas evaluados, muestran un patrón de variación latitudinal en casi todas las unidades presentes en la zona costera e interior del norte y centro de Chile (CONAF, 2016). No existen estudios nacionales que cuantifiquen los impactos de eventos extremos futuros en la disponibilidad y demanda de biomasa para generación eléctrica y uso final en el sector industrial y residencial.

### 9.1.2 Impactos sobre las tecnologías de generación

#### Generación Hidroeléctrica

A continuación, se muestran los impactos esperados del cambio climático sobre la generación hidroeléctrica y su infraestructura asociada, considerando su relación con los impactos en el recurso agua expuestos en la sección 9.1.1.

#### Caudal

Se espera una disminución de la precipitación en la zona centro-sur del país, que posee la mayor capacidad instalada de generación hidroeléctrica (MMA, 2016a). En la cordillera de Los Andes se espera una disminución de la precipitación sólida y líquida (DGF, 2009); (Ministerio de Energía, 2016b). En general, la precipitación junto con el aumento

de temperatura, impactarán en una menor escorrentía y cambios en la estacionalidad de los caudales. Todo ello afectará la generación hidroeléctrica, a saber:

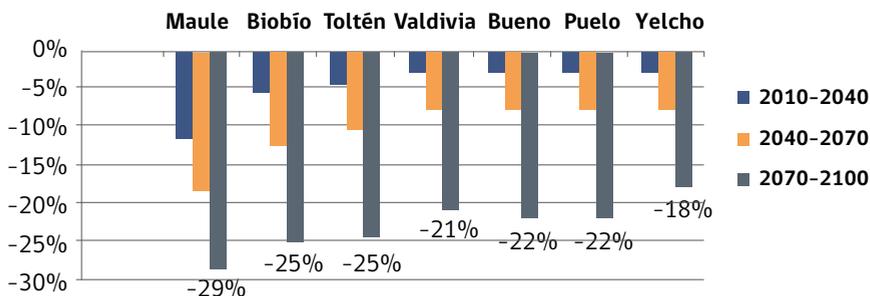
- Sobredimensionamiento de las plantas existentes, siendo más severo en cuencas nivales y nivopluviales, obligándolas a operar bajo el óptimo. Aquellas obras proyectadas y en construcción, serán igualmente afectadas si sólo se considera la línea base para su diseño (Ministerio de Energía, 2016b). Esto impactará eventualmente en mayores costos en estudios y monitoreo de las cuencas, así como futuros costos en el cambio de equipos e infraestructura, tales como turbinas y bocatomas, entre otros.
- Se espera una menor disponibilidad de agua para almacenamiento en los embalses destinados a generación hidroeléctrica y usos mixtos que incluyan generación, donde además, se espera un aumento de los conflictos asociados a la asignación de derechos de aprovechamiento de agua y su ejercicio (MMA, 2016a).

- El cambio en la estacionalidad de los caudales reducirá la capacidad de generación hidroeléctrica en la temporada de deshielos, disminuyendo así la disponibilidad de potencia firme en primavera y verano. Además, se proyecta una competencia importante entre los sectores productivos por el cambio de estacionalidad de los regímenes de caudales (Ministerio de Energía, 2016b).

Se esperan reducciones en el potencial de generación hidroeléctrica en cuencas de la zona centro y sur, desde 3% en la cuenca del Yelcho en el corto plazo (escenario RCP8.5; período 2010–2040), hasta cerca de un 28,8% en la cuenca del Maule en el largo plazo (escenario RCP8,5; período 2070–2100) (ver Figura 13).

En general, las reducciones proyectadas van disminuyendo conforme se avanza hacia el sur, pero van aumentando a medida que se avanza a períodos de tiempo más lejanos y los efectos esperados sobre el caudal (y por tanto, sobre la potencia generable) (Ministerio de Energía, 2016a).

**FIGURA 13.** Cambios proyectados en la potencia media generable bajo escenario RCP 8.5.



Fuente: Adaptado en base a Estudio de Cuencas del Ministerio de Energía (2016a).

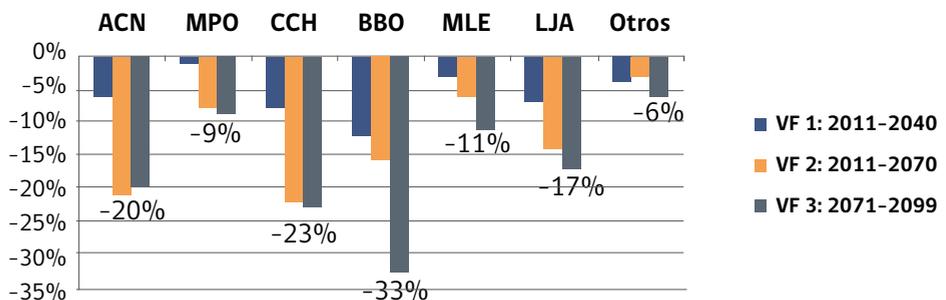
Cabe señalar que las cuencas de los ríos Palena, Cisnes, Aysén Baker y Pascua también fueron considerados en el estudio de cuencas (Ministerio de Energía, 2016a), no obstante, la conclusión del estudio indica que no es posible realizar una estimación confiable del cambio esperado en el potencial hidroeléctrico de estas cuencas australes, debido a la falta de datos observados que permitieran calibrar los modelos.

En la Figura 14 se observan los resultados para alguna de las cuencas más importante en generación a nivel nacional (McPhee *et al*, 2010).

El sistema de generación ubicado en la cuenca del río Maule, y en particular el área afluente al

embalse Colbún, constituye uno de los sistemas de generación más complejos en Chile. Dentro de los componentes del sistema Maule se encuentran centrales de pasada y de embalse, que dependen fuertemente de los regímenes nivales y nivopluviales de sus cuencas aportantes. Los impactos del cambio climático en la capacidad instalada (actual) y potencial (futura) de la cuenca del río Maule, indican que para RCP8.5 podría haber un importante impacto en los caudales de las cuencas, con variaciones del régimen hidrológico en el largo plazo, así como una baja significativa en el caudal en algunos casos, y con el consecuente impacto en el potencial de generación. (Ministerio de Energía, 2016b) (Ver Figura 15).

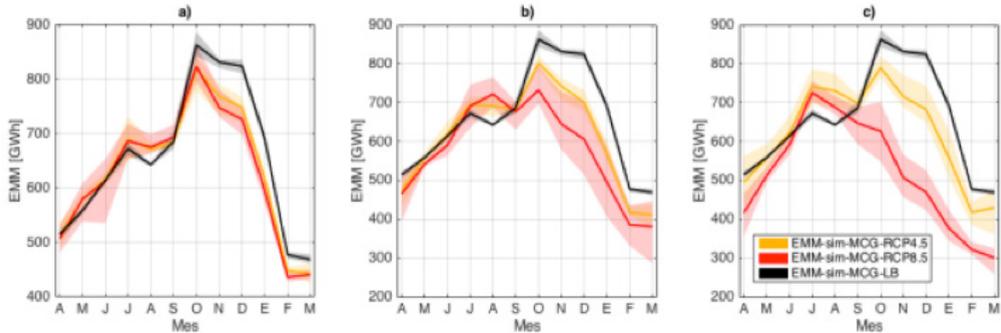
**FIGURA 14.** Variaciones porcentuales proyectadas de la producción de energía hidroeléctrica en Chile, escenario A2<sup>15</sup>.



Fuente: Adaptado en base a Estudio de Cuencas del Ministerio de Energía (2016a).

15. Cuencas de Aconcagua (ACN), Maipo (MPO), Cachapoal (CCH), Maule (MLE), Laja (LJA), Biobío (BBO) y otros (sistemas menores ubicados al sur del Biobío). VF: Ventana futura.

**FIGURA 15.** Comparación de los ensambles de energía bruta media mensual<sup>16</sup> de Maule Alto simulada en línea base (EMM-sim-MCG-LB) y para los escenarios RCP4.5 (EMM-sim-MCG-RCP4.5) y RCP8.5 (EMM-sim-MCG-RCP8.5), en las distintas ventanas futuras. La información se divide en a) VF1: Periodo 2009–2039, b) VF2: 2039–2069 y c) VF3: 2069–2099. La sombra denota el rango de variación entre los máximos y mínimos del ensamble de MCG.



Fuente: Ministerio de Energía, 2016b.

### Eventos Extremos

La ocurrencia de eventos extremos ha sido estudiada a nivel nacional (Villaruel, 2013); (Lagos, 2012; DGF, 2009) e internacional (Schaeffer *et al*, 2012), pero en relación a cómo impactarán estos eventos extremos y otros potenciales en la generación hidroeléctrica (generación, operación e infraestructura) no existen estudios disponibles en la actualidad.

De acuerdo a la opinión experta, ya se evidencian impactos de crecidas e inundaciones, así como de arrastre de sedimentos que dañan la infraestructura hidroeléctrica crítica como, por ejemplo, bocatomas, turbinas y otros.

Debido a la ausencia de antecedentes específicos, se examina a continuación un listado de los principales eventos extremos que podrían afectar a la generación e infraestructura hidroeléctrica nacional, tomando como base los impactos debido a inundaciones y sequías planteados por Schneider (2017):

- **Inundaciones:** afectarán a la infraestructura asociada a la generación hidroeléctrica (muros de presa). En el caso chileno, el potencial impacto está en los eventos de crecida que sobrepasen la capacidad de los vertederos, pudiendo causar su destrucción parcial o total, con el consiguiente

16. El estudio del Ministerio de Energía (2016b) seleccionó 3 MCG cuyos resultados se combinan o "ensamblan". El ensamble es la proyección conjunta de los tres modelos utilizados en este estudio. El rango de variación de un ensamble está definido por los valores máximos y mínimos de los tres modelos.

riesgo sobre la integridad del muro de presa, cuya falla, además de afectar la generación eléctrica, causaría incontables daños y pérdidas humanas hacia aguas abajo, debido al vertimiento repentino del agua represada.

- Sequías: problemas de almacenamiento de agua en los embalses para hidroelectricidad.

- Aluviones y precipitaciones intensas: Aunque no está documentado en estudios, sus efectos han sido evidenciados en el pasado (Sernageomin, 2015) y su magnitud puede llegar a ser relevante. Producto de remociones en masa de grandes secciones de terreno, asociadas a precipitaciones intensas, los fenómenos aluvionales producen daños considerables en toda clase de infraestructura. Los impactos esperados en la generación hidroeléctrica se relacionan con el eventual daño o destrucción de bocatomas, canales de conducción, tuberías de aducción, salas de máquinas, entre otros. Adicionalmente, el aumento en el arrastre de sedimentos que traen asociados estos fenómenos de precipitaciones intensas podría implicar una tasa mayor de sedimentación en embalses, reduciendo su vida útil; y una mayor sedimentación en las bocatomas, aumentando así los costos de mantención y operación.

### Generación Solar

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación solar y su infraestructura asociada.

Considerando su relación con los impactos en el recurso solar antes expuestos, acá se examinan impactos en las variables relacionadas como son temperatura, eventos extremos y otras variables como son la radiación solar y nubosidad.

### Temperatura

A nivel internacional se reconoce que la producción de una celda solar a una temperatura de 25°C, disminuye entre 0,25% y 0,5% por cada grado de aumento de la temperatura ambiental (Asian Development Bank, 2012). No obstante, la opinión de los expertos nacionales entrevistados para la elaboración del estudio base del Plan, indica que las actuales tecnologías son de mayor eficiencia, donde un aumento de 10°C significaría una reducción de sólo un 1% de la eficiencia. Con ello, se considera que las posibles disminuciones en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos producto de alzas en temperatura, serían de baja relevancia.

### Otras Variables

Como se menciona en el análisis sobre el impacto sobre el recurso solar, en Chile se proyectan aumentos en la radiación solar en la zona centro y centro sur del país, ampliando la zona geográfica del potencial de generación solar, lo que implica impactos positivos en las posibilidades de generación tanto fotovoltaica como de concentración solar. Al mismo tiempo, la opinión experta sugiere que cambios en los patrones de viento en la zona norte del país –los que de darse podrían

esperarse durante la segunda mitad del siglo - podrían afectar positivamente el rendimiento de los paneles fotovoltaicos (por efecto de enfriamiento), para la cual deberían realizar estudios específicos para estudiar el fenómeno.

### Eventos Extremos

A nivel internacional, se estima que, con una vida útil de 20 años o más, los paneles fotovoltaicos son vulnerables a sufrir daños ante eventos extremos tales como tormentas de granizo, vientos extremos y temperaturas extremas (olas de calor). Así como el aumento de temperatura disminuye la producción solar, las olas de calor también influirán en su eficiencia (Asian Development Bank, 2012).

A nivel nacional no existen estudios que analicen el impacto del cambio climático en la frecuencia y magnitud de olas de calor, en las zonas más sensibles de producción fotovoltaica o solar de potencia, así como tampoco en los principales centros urbanos donde también se proyecta una importante producción fotovoltaica en el futuro. Sin embargo, la opinión experta sugiere que, en cuanto a impactos de las olas de calor, no tendrían grandes efectos sobre los promedios anuales de temperatura, por lo que no afectarían en forma significativa el rendimiento de los paneles solares, lo cual no obstante debería ser objeto de un estudio específico para su mayor entendimiento.

Otro fenómeno relevante para Chile son las precipitaciones

intensas, inundaciones y aluviones (Sernageomin, 2015), especialmente en el norte del país y cerca de cordones montañosos, donde estos fenómenos pueden ser altamente destructivos, a causa de la ubicación de los proyectos de generación solar. Aunque la legislación nacional exige considerar eventos de crecida en la evaluación ambiental y sectorial de estos proyectos, no se consideran en la evaluación de riesgo los cambios a futuro en la frecuencia y magnitud (para un mismo periodo de retorno) de estos eventos de precipitación intensa e inundaciones potenciales. El potencial de producción de aluviones, aunque se analiza en algunos planes reguladores del país (riesgos de remoción en masa), no presenta estudios que evalúen el impacto en los parques solares de generación.

### Generación Eólica

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación eólica y su infraestructura asociada. Considerando su relación con los impactos en el recurso viento antes expuesto, acá se examinan impactos en las variables relacionadas como son eventos extremos y otras variables (patrones de viento).

### Otras Variables

A nivel internacional se estima que la variabilidad estacional de la velocidad del viento, diaria u horaria, tendrá un impacto significativo en la energía producida con turbinas eólicas. En este sentido, el análisis de los impactos del cambio climático debe incluir la distribución de frecuencias

y velocidades del viento, así como el valor promedio. Por ejemplo, alteraciones en la distribución de frecuencia de la velocidad del viento pueden afectar el ajuste óptimo entre la disponibilidad de potencia de la fuente natural y la curva de potencia de la turbina eólica (Ebinger & Vergara, 2011; Schaeffer *et al.*, 2012). En Chile, el Explorador Eólico del Ministerio de Energía cuenta con un año de información observada y una reconstrucción climatológica que permite identificar la variabilidad del viento en ese período, no obstante, no se tienen antecedentes de los cambios potenciales en la variabilidad del viento producto del cambio climático, ni sus efectos en la capacidad instalada y futura de generación.

Aunque se reconoce internacionalmente que la producción de energía eólica es probablemente más vulnerable a los impactos negativos del cambio climático que la generación hidroeléctrica, los sistemas de generación eólicos tienen una vida útil menor, lo que les permite ser más adaptables en el largo plazo (Ebinger & Vergara, 2011). A nivel nacional no se cuenta con estudios que validen la experiencia de otros países.

### Eventos Extremos

Hay pocos estudios que aborden el efecto del cambio climático en el congelamiento de las turbinas (heladas), pero los existentes indican que en el futuro se espera una disminución de la frecuencia de congelamiento en el norte de

Europa, lo cual podría habilitar nuevos sitios para generación eólica (Pryor & Barthelmie, 2010). En Chile, el alza generalizada de las temperaturas tendría impactos en la menor ocurrencia de heladas, por lo que este riesgo se considera poco significativo, especialmente tomando en cuenta las zonas donde se ubican los parques eólicos (principalmente en zonas costeras).

De acuerdo a la experiencia internacional, el factor de carga debido a condiciones extremas de velocidad del viento puede ser dividida en dos componentes: cargas extremas, asociadas principalmente a eventos extremos de hasta 50 años de periodo de retorno y cargas de fatiga, determinadas principalmente por fluctuaciones en el promedio y la desviación estándar de la velocidad del viento, lo cual se relaciona fuertemente con los niveles de turbulencia esperados (Pryor & Barthelmie, 2010). Esto conlleva a impactos del cambio climático que también podrían afectar a Chile y están relacionados con efectos sobre el contexto medioambiental, el diseño, la operación y la mantención de los sistemas eólicos. En el caso del diseño, el factor de carga es fundamental para el desempeño y vida útil de las turbinas.

Finalmente, eventos extremos como inundaciones y aluviones podrían afectar la infraestructura de generación eólica en el país, aunque en la actualidad no se cuenta con registros que evidencien este impacto, ni con estudios disponibles a nivel nacional que aborden estas materias.

## Generación Termoeléctrica

A continuación, se indican los impactos esperados en la generación termoeléctrica y su infraestructura asociada. Se examinan impactos en las variables relacionadas como son temperatura, precipitación, caudal y eventos extremos.

### Temperatura

A nivel internacional, se estima que el cambio climático podría afectar la producción de electricidad de las plantas termoeléctricas, a través de los impactos en la eficiencia del ciclo de generación. Las tecnologías que se verían afectadas son las basadas en el uso de carbón, gas natural y biomasa, entre otras. El aumento de temperatura ambiental conduce a un descenso del diferencial de temperatura entre el ambiente y la temperatura de combustión, reduciendo la eficiencia de grupos electrógenos, calderas y turbinas. Lo mismo se espera para los sistemas enfriados por aire. En el caso de las plantas a carbón, la reducción de eficiencia es relativamente pequeña, pero es medible. Por otra parte, las turbinas a gas experimentan una reducción de la potencia proporcional al incremento de la temperatura (3 a 4% de reducción para un incremento de 5,5°C de temperatura del aire). Aunque estos efectos pueden ser relativamente pequeños, una pequeña variación en la temperatura ambiente puede representar una caída significativa del suministro de energía en países que dependen fuertemente de la generación térmica, como es el caso en Chile. En tecnologías de ciclo combinado,

la eficiencia puede verse afectada por variaciones en la temperatura, aumentando el uso de combustible y reduciendo la generación total (Schaeffer *et al.*, 2012; Asian Development Bank, 2012).

Debido al alza de las temperaturas proyectada para Chile, se espera que estos impactos también afecten a la generación termoeléctrica en el país, pero no existen estudios disponibles que cuantifiquen la magnitud de estos impactos.

### Precipitación

No se estiman impactos significativos en la generación termoeléctrica a causa de las menores precipitaciones, salvo en aquellos casos que utilizan aguas superficiales continentales o aguas subterráneas para sus procesos. Estos son pocos casos, ya que la mayoría de las termoeléctricas utilizan agua de mar.

### Caudal

A nivel internacional, es relevante analizar los impactos en la confiabilidad del suministro, a causa de interrupciones no planificadas por escasez de agua. En particular, el volumen de agua requerido puede ser considerable, así como el caudal de dilución requerido para enfriar adecuadamente el efluente de las plantas, sin provocar daño a los ecosistemas acuáticos. En general, las termoeléctricas basadas en la combustión de combustibles fósiles tendrán mayores requerimientos de agua, dependiendo de la tecnología de generación, tecnología de enfriamiento y su capacidad

en megawatts (Schaeffer *et al*, 2012; Asian Development Bank, 2012). En Chile, la mayoría de las termoeléctricas utilizan agua de mar en sus procesos, siendo sólo una minoría que hace uso de aguas continentales. Para estas últimas, la disminución esperada de los caudales, afectaría a la generación termoeléctrica, pero no existen estudios disponibles que cuantifiquen la magnitud de estos impactos.

### Eventos Extremos

A pesar que las grandes termoeléctricas se encuentran en la costa, se estima que están alejadas a las zonas de marejadas, no obstante, sus conducciones de captura de agua de mar y emisarios, pueden verse afectados por éstas. En la actualidad no existen estudios disponibles que analicen el efecto a futuro de las marejadas en la infraestructura asociada al sector energético.

Por otro lado, las inundaciones también pueden causar daños en la infraestructura de termoeléctricas ubicadas cerca de cauces naturales. En la actualidad, no existe en Chile una evaluación del total de termoeléctricas que son vulnerables a estos fenómenos.

Las olas de calor, por su parte, podrían implicar reducciones en la eficiencia y capacidad de producción de energía de las plantas termoeléctricas, lo cual no ha sido estudiado hasta la fecha en Chile.

En condiciones de extremas y repetidas sequías, algunas empresas generadoras se han preparado para una eventual falta de agua para refrigeración, que afectaría la capacidad generadora de los ciclos combinados de las termoeléctricas. Para ello, han invertido en plantas de osmosis inversa, con el fin de acceder a otras fuentes de agua para la operación, lo que también conlleva un aumento en los costos de operación (Colbún, 2017).

## 9.2 IMPACTOS SOBRE EL TRANSPORTE DE ENERGÍA

### 9.2.1 Impactos en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica

A continuación, se indican los impactos esperados en la transmisión y distribución de energía (T&D), y su infraestructura asociada. Se examinan impactos en las variables de temperatura, eventos extremos y otras variables relacionadas.

#### Temperatura

A nivel internacional, se estima que el aumento de temperaturas afectará directamente a la infraestructura de transmisión, como lo establece un estudio realizado por el estado de California, que estima que el aumento de temperaturas proyectado podría disminuir la capacidad de las líneas de transmisión totalmente cargadas (Ebinger & Vergara, 2011); Schaeffer *et al.*, 2012). En términos generales, las pérdidas de la red pueden aumentar un 1% si la temperatura aumenta 3°C en una red que posea pérdidas iniciales de un 8% (Asian Development Bank, 2012). No se encuentran estudios específicos respecto del impacto de las variaciones de temperatura sobre la distribución de energía.

#### Otras Variables

A nivel internacional, el Asian Development Bank (2012) aborda

en forma conjunta el análisis de las redes de transmisión y distribución (T&D), las cuales tienen una vida útil de 30 a 50 años aproximadamente. La infraestructura de T&D usualmente no cuenta con rutas alternativas en sus redes, por lo que una falla en una planta de generación generalmente no puede ser rápidamente cubierta por otra planta. Por otro lado, se deben evitar excesivos voltajes y fluctuaciones de la frecuencia, balanceando correctamente la oferta y la demanda. Todas estas consideraciones potencian los posibles impactos del cambio climático sobre la infraestructura de T&D, por lo se espera que las redes de transmisión integradas y alimentadas por una mayor diversidad de fuentes de energía, sean menos vulnerables al cambio climático (Ebinger & Vergara, 2011). En este sentido, cabe destacar que a nivel nacional, la interconexión del SIC y el SING permitirá reducir la vulnerabilidad, y aumentar la seguridad del sistema, aprovechando de mejor forma los recursos energéticos disponibles a lo largo del país (Gobierno de Chile, 2012).

#### Eventos Extremos

A nivel internacional, se reconoce que las redes eléctricas, incluyendo transformadores y estaciones conmutadoras, pueden verse

afectadas por heladas y humedad excesivas (Asian Development Bank, 2012). Adicionalmente, la extensión de las redes de transmisión las expone a una serie de eventos climáticos, tales como cargas extremas de viento y hielo, avalanchas, aluviones, inundaciones e incendios. Casos como la excesiva formación de hielo en las líneas eléctricas aéreas pueden involucrar mayores costos de reparaciones, además de los daños potenciales asociados a los demás eventos extremos. (Schaeffer *et al* 2012). En el marco de los talleres de elaboración de este Plan, se señaló el efecto de las heladas sobre los sistemas de distribución, las cuales pueden reducir la distancia entre los aisladores, provocando apagones.

Por otra parte, a nivel internacional se señala que las redes de distribución tendrán problemas similares a las líneas de transmisión, aunque con un menor grado de impactos debido a su menor extensión. En general, se espera que los eventos extremos como fuertes vientos y temperaturas extremas dañen o disminuyan la capacidad de la red de distribución, provocando interrupciones o descensos del suministro de energía eléctrica (Schaeffer *et al*, 2012).

A nivel nacional, no existen estudios disponibles que establezcan esta relación. Sin embargo, la experiencia del último tiempo, la cual es respaldada por la opinión experta, ha dejado en evidencia la alta vulnerabilidad del sistema de transmisión y distribución eléctrica del país y la urgencia de abordarlo adecuadamente. Entre ellos:

- Aluviones en la zona norte del país que han afectado la transmisión y distribución de energía.
- Ocurrencia de vientos y otros eventos extremos (ej. nieve) que en poco tiempo, han derribado postes y cables de distribución, dejando a amplios sectores de la zona centro del país y por largos espacios de tiempo sin suministro, evidenciando la poca capacidad del sistema de distribución para abordar estos eventos.

Considerando que se proyecta que este tipo de fenómenos – aluviones, vientos extremos, inundaciones, precipitaciones intensas, olas de calor, heladas e incendios forestales – serán cada vez más frecuentes, es importante avanzar en los estudios que permitan establecer más finamente estos comportamientos y, al mismo tiempo, implementar medidas de adaptación que permitan ir abordando las urgencias.

### 9.2.2 Impactos en Infraestructura Asociada a Combustibles

A continuación, se indican los impactos esperados en la infraestructura asociada a combustibles. Se examinan impactos en las variables de temperatura, otras variables y eventos extremos.

#### Temperatura

A nivel internacional, el cambio climático puede afectar las áreas de producción, amenazando la integridad estructural e infraestructura construida en dichas áreas (Schaeffer *et al*, 2012). Para Chile, estos impactos serán

relevantes en la medida que afecten los precios de importación, debido a la afectación de fuentes y/o medios de transferencia de combustibles (oleoductos, transporte marino, etc.), lo cual no ha sido cuantificado hasta ahora en el país.

### Otras Variables

Un alza en el nivel del mar en Chile podría poner en riesgo la infraestructura portuaria que recibe gran parte de las importaciones de combustibles, así como refinerías, plantas regasificadoras, oleoductos, gasoductos y toda instalación y equipos que se ubiquen en las costas nacionales. Se estima que esto impactará en costos asociados a la reposición y/o relocalización del equipamiento e infraestructura crítica, además de los costos asociados a la interrupción de la importación y refinación de combustibles fósiles. En la actualidad, no existen estudios disponibles a nivel nacional que analicen el impacto del alza del nivel del mar en la infraestructura asociada a combustibles, que se ubica en las zonas costeras del país.

### Eventos Extremos

La infraestructura, equipos y operaciones ubicadas en la cordillera de Los Andes serán más vulnerables a aluviones, lo cual involucrará mayores costos asociados a la reposición, reubicación y operación de instalaciones dañadas. Asimismo, la zona costera será afectada por mayor intensidad y frecuencia de las marejadas anormales y, la evidencia indica que este es un fenómeno

que ya está ocurriendo. La opinión experta recibida en talleres, señala que el mayor impacto vendría dado por el cierre asociado a los puertos -y la consecuente interrupción en la internación de combustibles- más que a daños en la infraestructura de almacenamiento y transporte del mismo. Esto, sumado a la baja capacidad de almacenamiento de combustibles para abastecer los servicios básicos y de generación, puede llegar a afectar la capacidad de suministro de combustibles a nivel nacional.

También es esperable un aumento de los costos asociados a primas de seguros. Con todo, faltan estudios que analicen la ocurrencia de estos fenómenos y sus impactos en la infraestructura existente en el territorio nacional.

## 9.3 IMPACTOS SOBRE LA DEMANDA DE ENERGÍA (USO FINAL)

### 9.3.1 Impactos en Demanda Energética por refrigeración y calor

A continuación, se indican los impactos esperados en usos finales de calefacción y refrigeración. Se examinan impactos en las variables de temperatura, caudal y eventos extremos.

#### Temperatura

La demanda global de energía para calefacción se incrementará un 0,8% al año entre 2000 y 2030, debido al aumento de los ingresos y de la población, y después disminuirá lentamente, debido al nivel de crecimiento de la población y a los efectos del cambio climático (Girardi *et al*, 2015). A largo plazo, el efecto más evidente del cambio climático será una menor demanda de calefacción debido a un aumento de las temperaturas (Schaeffer *et al*, 2012).

En este contexto, se estima que las iniciativas de eficiencia energética serían capaces de cambiar en forma significativa los perfiles de demanda (Asian Development Bank, 2012), pero impactarán en mayores costos asociados a la implementación de iniciativas, especialmente a nivel residencial, donde el costo de potenciales subsidios y certificaciones puede ser significativo para el Estado chileno (Romero, 2011). Por otra parte, hay impactos positivos relacionados con el aumento del confort térmico a nivel residencial, la creación de

nuevos mercados, menores costos de calefacción a largo plazo, entre otros (MAPS-Chile, 2016a; MAPS-Chile, 2016b).

Debido al alza de temperaturas, se espera que la demanda por refrigeración aumente a nivel internacional. Se estima que la implementación de mejoras en el diseño en los sistemas pasivos de edificios, fábricas y vehículos podría reducir la demanda de energía mundial en un 73%, con un margen adicional de reducción de la demanda al mejorar la eficiencia energética de sistemas activos, tales como bombillas eléctricas, motores, entre otros (Asian Development Bank, 2012; Schaeffer *et al*, 2012).

En Chile, se proyectan alzas en las temperaturas a lo largo de todo el territorio –especialmente en el centro norte del país. Ello, por un lado, inducirá a alzas en consumos por refrigeración, especialmente en verano y por otro lado llevará, a posibles reducciones para calefacción, especialmente en invierno. Se requieren estudios que analicen adecuadamente estos patrones de comportamiento de la demanda a los impactos del cambio climático.

#### Caudal

La disminución de los caudales puede disminuir la capacidad de refrigeración de algunas industrias, lo cual impactará en costos asociados a interrupciones en la producción, reemplazo de equipos, entre otros.

## Eventos Extremos

Las temperaturas extremas y las de calor, afectarán la demanda de energía por refrigeración a nivel industrial y residencial, incrementando el consumo y reduciendo la eficiencia de los equipos, especialmente en el centro norte del país. La opinión experta releva el impacto de las olas de calor en el consumo energético como un aspecto crítico, debido a que los posibles peak de demanda energética resultantes pueden conllevar a riesgos de suministro. Se requieren estudios que analicen adecuadamente estos patrones de comportamiento.

### 9.3.2 Impactos en la demanda por otros usos finales -industria y minería

A nivel internacional, el sector minero es considerado particularmente vulnerable al cambio climático, considerando su alta demanda de energía y su inherente dependencia a las condiciones medio ambientales naturales en torno a zonas de explotación. Pese a esto, existe escaso conocimiento de cómo impactará el cambio climático a las operaciones mineras y al sector extractivo en general (Climate Diplomacy, 2016). A nivel nacional no hay información pública disponible respecto de estos patrones. No obstante, a nivel del sector privado, algunas empresas están comenzando a generar estudios relevantes sobre estos vínculos, los cuales no son de acceso público.

Para los sectores agropecuario y forestal, se encuentran estudios orientados al impacto en el rendimiento o eficiencia de producción, producto de aumento de heladas, cambios de temperatura y su impacto en la evapotranspiración (MMA, 2014a). No obstante, no se encuentran antecedentes específicos al potencial aumento de demandas energéticas por los cambios del clima.

Debido la falta de estudios específicos, el análisis de impactos se acota a la literatura internacional y opinión experta. Para el análisis de impactos se han considerado además, los cambios proyectados en las variables físicas definidas previamente y analizadas para el caso chileno.

### Temperatura

Debido al alza de las temperaturas, especialmente en la zona norte del país, se espera una reducción de la eficiencia de equipos de combustión, intercambiadores de calor, entre otros, lo cual aumentará la demanda de energía. En el caso de la industria agroalimentaria, como es el caso de la vitivinícola, se espera un incremento de la demanda de riego, impactando en un mayor consumo de energía para el bombeo de agua. También se esperan cambios en las fechas de maduración y zonas idóneas de los cultivos industriales, así como una eventual disminución del rendimiento de los cultivos lo cual impactará en los costos asociados a la investigación y reubicación de los cultivos, junto con un eventual mayor consumo de energía para mantener la producción con menores rendimientos.

## Precipitación

La disminución de precipitaciones disminuirá la disponibilidad de recursos hídricos, lo cual implicará mayor consumo de energía asociado al tratamiento de aguas (desalinización) y bombeo a largas distancias, lo cual no sólo es aplicable a la minería e industria en general, sino también al agua para consumo humano. Se espera, además, un desplazamiento de los cultivos industriales debido a los cambios en los patrones de precipitación, lo cual causará costos debido a la pérdida de terrenos y necesidad de reubicación. También, se verá afectado el rendimiento de los cultivos, lo que implicará un eventual mayor consumo de energía para mantener la producción con menores rendimientos.

## Caudal

Sus impactos se relacionan directamente con los producidos por la reducción de las precipitaciones, incluyendo potenciales impactos causados por la falta de agua para los sistemas de refrigeración industrial.

## Otras variables

Una posible alza en el nivel del mar pondría en riesgo la infraestructura portuaria de la minería, así como refinerías, mineroductos, plantas de procesamiento y toda instalación y equipos que se ubiquen en las costas nacionales, como en el caso de la industria pesquera. Esto impactará en costos asociados a la reposición y/o relocalización del equipamiento e infraestructura crítica.

## Eventos Extremos

Se espera un incremento de la competencia por el agua, debido al aumento en la frecuencia de sequías y el impacto del aumento de las temperaturas máximas. Algunas empresas podrán resolver, en parte, la escasez con acceso a desalinización del agua, o bombeo desde mayores distancias y profundidades (napas subterráneas). Esto conllevará una mayor demanda de energía de algunos sectores industriales. En el caso de la industria agroalimentaria y forestal, es esperable un aumento de los costos asociados a primas de seguros y aumento de las pérdidas de materia prima e infraestructura asociadas a sequías, incendios forestales, inundaciones, heladas y olas de calor.

La infraestructura, equipos y operaciones ubicadas en la cordillera de Los Andes serán más vulnerables a aluviones, lo cual involucrará mayores costos asociados a la reposición, reubicación y operación de instalaciones dañadas. Asimismo, la zona costera será afectada por marejadas que elevan violentamente el nivel del mar, produciendo impactos severos debido a la intensidad y mayor frecuencia de estos fenómenos.

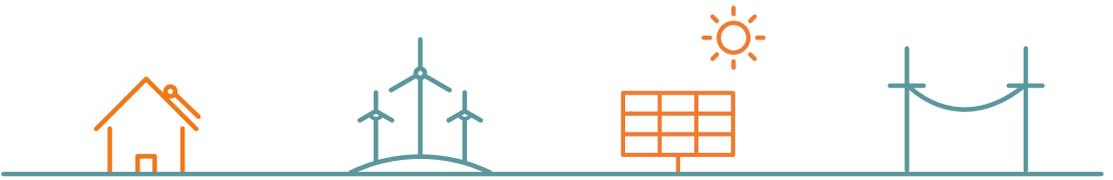


**Ministerio de Energía**

[www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl)

Alameda 1449, pisos 13 y 14. Edificio Santiago Downtown II, Santiago, Chile

Fono: +56 2 2 365 6800





**Ministerio de Energía**

[www.energia.gob.cl](http://www.energia.gob.cl)

Alameda 1449, pisos 13 y 14. Edificio Santiago Downtown II, Santiago, Chile

Fono: +56 2 2 365 6800