



Anteproyecto de Plan de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Energía de Chile



Santiago, Noviembre de 2017

Este anteproyecto de plan fue elaborado por el Ministerio de Energía en colaboración con las SEREMIAS de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, mediante el trabajo de expertos nacionales e internacionales incluyendo representantes de distintos servicios públicos, de la academia, sector privado y ONGs.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ENERGÉTICO	9
2.1.1	Tendencias del cambio climático a nivel global	9
2.1.2	Tendencias observadas y proyectadas del clima en Chile	10
3.	CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO DE CHILE Y SU VUNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	12
3.1	Caracterización del Sector Energético Chileno	14
3.1.1	Oferta Energética	14
3.1.2	Transporte de Energía	16
3.1.3	Demanda de Energía	18
3.1.4	Tendencias para el sector en el largo plazo: Planificación Energética de Largo Plazo	19
3.2	Análisis de Impactos del Cambio Climático en el Sector Energético Nacional	21
3.2.1	Oferta Energética	21
3.2.2	Transporte de Energía	27
3.2.3	Demanda de Energía	29
3.2.4	Resumen de Impactos del Cambio Climático sobre el Sector Energético Chileno	30
3.3	Priorización de Impactos del Cambio Climático sobre el Sector Energético Chileno para el Plan de Adaptación	32
4.	PLAN DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÍA	33
4.1	Principios del Plan	33
4.2	Objetivo del Plan	33
4.3	Líneas de acción	33
4.3.1	Tipos de medida	34
4.3.2	Medidas de adaptación	34
4.4	Monitoreo y actualización del Plan	35
4.5	Comunicación y sensibilización	35
4.6	Integración de la adaptación al cambio climático en las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia de energía	36
4.7	Financiamiento del plan de adaptación del sector energía	36
5.	Fichas de Medidas de Adaptación	37
6.	ACRÓNIMOS	53

7.	BIBLIOGRAFÍA	55
8.	ANEXO 1	59
8.1	Análisis de impactos del cambio climático en el sector energético nacional	59
8.2	Impactos del Cambio Climático Sobre la Oferta Energética	60
8.2.1	Impactos sobre los recursos energéticos	60
8.2.2	Impactos sobre las tecnologías de generación	68
8.3	Impactos sobre el Transporte de Energía	75
8.3.1	Impactos en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica	75
8.3.2	Impactos en Infraestructura Asociada a Combustibles	77
8.4	Impactos Sobre Demanda Energética (Uso Final)	78
8.4.1	Impactos en Demanda Energética por refrigeración y calor	78
8.4.2	Impactos en la demanda por otros usos finales –industria y minería	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cambios proyectados de la temperatura superficial global	6
Tabla 2. Síntesis de riesgos de impactos de los eventos climáticos y cambios en temperatura y precipitación al 2059 para las 15 capitales regionales de Chile considerando el escenario RCP8.5	11
Tabla 3. Infraestructura del sistema de transporte de energía por región, en número de instalaciones.	18
Tabla 4. Resumen de impactos del cambio climático en el recurso agua.	22
Tabla 5. Resumen de impactos del cambio climático en el recurso solar.	22
Tabla 6. Resumen de impactos del cambio climático en el recurso viento.	23
Tabla 7. Resumen de impactos del cambio climático en el recurso biomasa.	24
Tabla 8. Resumen de impactos del cambio climático en la generación hidroeléctrica.	25
Tabla 9. Resumen de impactos del cambio climático en la generación solar.	25
Tabla 10. Resumen de impactos del cambio climático en la generación eólica.	26
Tabla 11. Resumen de impactos del cambio climático en la generación termoeléctrica.	27
Tabla 12. Resumen de impactos del cambio climático en la transmisión y distribución de energía eléctrica	28
Tabla 13. Resumen de impactos del cambio climático en la infraestructura asociada a combustibles	28
Tabla 14. Resumen de impactos del cambio climático en la demanda de calor, refrigeración y otros.	29
Tabla 15. Resumen de impactos del cambio climático en otros factores de demanda,	30
Tabla 16. Resumen de impactos del cambio climático en el sector energético,	31
Tabla 17. Lista de medidas de adaptación priorizadas para la elaboración de fichas	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escenarios RCP	6
Figura 2. Modelo conceptual del impacto del cambio climático en el sector energético chileno	12
Figura 3. Total nacional y porcentaje de los recursos energéticos en Chile en el año 2015, en unidades de Tcal y %.	15
Figura 4. Capacidad instalada en los sistemas de generación de electricidad en Chile, actualizada a abril de 2017.	16
Figura 5. Total y porcentaje del consumo final en Chile del año 2015 (matriz secundaria) en unidades de Tcal y %.	18
Figura 6. Total del consumo final y porcentaje en Chile en el año 2015 (matriz secundaria) por sector económico, en unidades de Tcal y %.	19
Figura 7. Generación eléctrica esperada por tecnología, Escenario B.	20
Figura 8. Proyección preliminar de demanda media según sector, período 2016-2046. Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI en base a la información facilitada por el equipo del Proceso de Planificación Energética de largo plazo del Ministerio de Energía.	20
Figura 9. Diferencias porcentuales entre precipitación anual por periodo o ventana futura, para todos los sistemas modelados en escenario RCP8.5.	61
Figura 10. Comparación de los ensambles de caudales medios mensuales promedio de Melado, simulados en línea base (QMM-sim-MCG-LB) y para los escenarios RCP4.5 (QMM-sim-MCG-RCP4.5) y RCP8.5 (QMM-sim-MCG-RCP8.5), en las distintas ventanas futuras.	62
Figura 11. Resumen de las diferencias porcentuales entre el caudal anual promedio por periodo, para todos los sistemas modelados en escenario A2.	62
Figura 12. 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.	63
Figura 13. 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.	64
Figura 14. Cambios proyectados en la potencia media generable bajo escenario RCP 8.5. Fuente: Elaboración propia en base a Estudio de Cuencas, (Ministerio de Energía, 2016a).	69
Figura 15. Variaciones porcentuales proyectadas de la producción de energía hidroeléctrica en Chile, escenario A2.	69
Figura 16. Comparación de los ensambles de energía bruta media mensual de Maule	70

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, el cambio climático se ha ido relevando crecientemente como uno de los grandes desafíos a abordar 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. Estos impactos se intensificarán en el futuro con un aumento de la temperatura de la tierra y especialmente, de la temperatura promedio. Según el 5° Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), los diferentes escenarios de proyección de temperatura en base a los Escenarios de Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, *representative concentration pathway scenarios*)¹, prevén un aumento de la temperatura promedio entre $\pm 1^\circ\text{C}$ hasta $\pm 4^\circ\text{C}$ hasta 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 8.5W/m^2 (ver Figura 1). Por tanto, la adaptación a estos cambios va tomando cada vez más importancia, llegando a ser un tema central en los esfuerzos internacionales.

Tabla 1. Cambios proyectados de la temperatura superficial global

Escenario	2046–2065		2081–2100	
	Promedio °C	Rango más probable °C	Promedio °C	Rango más probable °C
RPC 2.6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
RPC 4.5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
RPC 6.0	1,4	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
RPC 8.5	1,2	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

Fuente: 5° Informe IPCC, 2013

	FR	Tendencia del FR	[CO ₂] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m ²	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m ²	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m ²	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m ²	creciente	936 ppm

Figura 1. Escenarios RCP

Fuente: Adaptado de 5° Informe IPCC, WG1, 2013

¹ Los escenarios RCP son una nueva 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. Esta "fuerza radiativa" se mide en Watts/m² 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/m². Así, el de menos forzamiento radiativo (i.e., 2.6Watts/m²) generaría un aumento promedio de temperatura de 1°C al año 2100, mientras que el de mayor forzamiento (i.e., 8.5Watts/m²) daría como resultado un aumento promedio cercano a los 4°C.

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 adaptación² 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.

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, 2016a) 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**. Estos efectos ya se han ido manifestando a lo largo del territorio.

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 del Sector Energético Español del año 2015 (Girardi, Romero, & Linares, 2015), así como los planes de adaptación del sector energía de Austria y Suiza respectivamente. 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 actualizado (PANCC 2017-2022), es el instrumento articulador de la política pública en materia de cambio climático en Chile, estableciendo como uno de sus ejes de acción principales la adaptación. Junto con ello, en los últimos 4 años se ha avanzado hacia una estrategia de adaptación que se ejecuta a través de nueve planes de adaptación en sectores prioritarios – Recursos Hídricos, Biodiversidad, Silvoagropecuario, Pesca y Acuicultura, Energía, Ciudades, Salud, Infraestructura, Turismo y Zonas Costeras – de los cuales 4 ya se encuentran en implementación y 5 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).

La Política Energética Nacional al 2050 (PEN2050) es también coherente al establecer el compromiso para el sector energía de avanzar, antes del año 2018, en su Plan de

² 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.

Adaptación. Asimismo, en la Contribución Nacional de Chile (NDC por sus siglas en inglés) para el Acuerdo Climático de París de 2015, el Gobierno de Chile se compromete 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.

Anteproyecto

El Anteproyecto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía se enmarca dentro de la Política Energética Nacional (PEN2050), cuya aprobación se publicó el 30 de diciembre de 2015 en el diario oficial, mediante Decreto N° 148. Su proceso de construcción —desarrollado bajo un amplio proceso participativo— se apoyó, entre otros, en la “Agenda de Energía”, la “Hoja de Ruta 2050: Hacia una Energía Sustentable e Inclusiva”, y recibió también otros insumos provenientes directamente de la ciudadanía. Para esto se contó con una plataforma de participación virtual, la que permitió entregar públicamente el material generado en todo el proceso de Energía 2050 y recibir opiniones de los ciudadanos. La PEN define una visión del sector energético al 2050, y está conformada en base a 4 Pilares, a saber:

Pilar 1: Seguridad y Calidad de Suministro

Pilar 2: Energía como Motor de Desarrollo

Pilar 3: Energía Compatible con el Medio Ambiente

Pilar 4: Eficiencia y Educación Energética

Dentro de los compromisos establecidos en la Política Energética Nacional está el elaborar y aplicar un plan de adaptación del sector energía al cambio climático, lo cual se recoge en el Lineamiento 26 de dicha Política, bajo el Pilar 3 “Energía Compatible con el Medio Ambiente”. Dicho Plan tiene como fin promover medidas para abordar la variabilidad climática y los daños potenciales sobre la infraestructura energética. Asimismo, las medidas del Plan están, a su vez, en consonancia con lo establecido en el Pilar 1 de la Política Nacional de Energía, “Seguridad y Calidad del Suministro”, que establece como meta al 2050 que “el país cuenta 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 Anteproyecto del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía se elabora en respuesta a los objetivos y metas establecidos en la Política Energética Nacional en materia de cambio climático y adaptación (en particular en aquellos establecidos en los Pilares 1 y 3), lo que 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 (PNACC) del 2014.

Metodología de trabajo

El Ministerio de Energía, con el apoyo del Ministerio del Medio Ambiente, condujo la elaboración del Anteproyecto, para lo cual contrató a un equipo conformado por consultores nacionales e internacionales³.

La identificación y priorización de los impactos del cambio climático y de las medidas de adaptación, se realizó tomando en cuenta la información técnica existente a nivel nacional e internacional, así como la opinión de expertos del área energética y de cambio climático provenientes de empresas privadas, entidades públicas, academia, y organizaciones de la sociedad civil, además de la participación ciudadana a través de entrevistas y talleres realizados en las ciudades de Antofagasta, Concepción y Santiago durante el año 2017.

En las secciones siguientes se identifican los principales impactos del cambio climático en el sector energía, tanto a nivel global como en Chile, se entrega una caracterización del sector energético y su vulnerabilidad al cambio climático, y se realiza una descripción de las medidas seleccionadas, ordenándolas según cómo se dividió metodológicamente el análisis del sector, es decir: oferta energética, transporte (electricidad y combustibles) y demanda. Asimismo, se agregaron dos enfoques más de medidas, uno transversal y el otro relativo a gobernanza. En consecuencia, las medidas propuestas allí se ordenan en una estructura de Plan de Adaptación para el Sector Energía en el Capítulo 3, y son las medidas de adaptación prioritarias para sentar las bases de la adaptación del sector energético en Chile.

2. TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ENERGÉTICO

2.1.1 Tendencias del cambio climático a nivel global

La evidencia científica indica que el calentamiento de la tierra es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios (IPCC, 2013/14). El incremento de temperatura global presenta anomalías sobre +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. Las tendencias de cambio en precipitaciones se acentuaron en los últimos 60 años a nivel global.

Las tendencias futuras descritas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés), 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. El nivel medio del mar (NMM) a nivel mundial se elevó 0,19 m en el período 1901-2010, y se espera que aumente entre 0,26 y 0,82 m entre 2081 y 2100. Las tendencias esperadas tienen el potencial de provocar cambios irreversibles, con implicancias en todo el sistema terrestre (IPCC, 2013/14).

³ Consorcio formado por EBP, Eridanus y Consensus Building Institute (CBI).

2.1.2 Tendencias observadas y proyectadas del clima en Chile

Temperatura

Las tendencias observadas en las temperaturas medias en Chile hasta 2010 exhiben, desde Arica hasta Concepción, un patrón de enfriamiento en las costas y calentamiento en el interior (valle central) y en los Andes como principal tendencia (MMA, 2016a); (IPCC, 2013/14); (DMC, 2014).

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. Se espera que el mayor calentamiento se verifique en la zona norte grande y en altura, sobre la Cordillera de los Andes (Rojas, 2012);(Ministerio de Energía, 2016b).

Precipitaciones

La tendencia en precipitación anual varía dependiendo de la región y el período considerado. En la zona norte y 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, 2016a); (Boisier, Rondanelli, Garreaud, & Muñoz, 2016); (DMC, 2014). La zona semiárida se ha caracterizado por sucesiones de años lluviosos y sequías multianuales.

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).

Según el estudio de cuencas (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, Para 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 (cuenca del Toltén, escenario RCP2.6; período 2040-2070) hasta un 28% en la cuenca del Maule (escenario pesimista RCP8.5; período 2070-2100).

Para las cuencas de la zona sur se proyectaron reducciones de entre un 2% y un 3% para todas las cuencas en el escenario a corto plazo, y de hasta 22% en algunas cuencas, en el largo plazo (cuencas del Bueno y del 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, 2016a). La **Tabla 2** presenta una síntesis de cambios estimados⁴ de temperaturas y precipitaciones en las 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 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 de impactos y vulnerabilidad del sistema energético nacional.

Tabla 2. Síntesis de riesgos de impactos de los eventos climáticos y cambios en temperatura y precipitación al 2059 para las 15 capitales regionales de Chile considerando el escenario RCP8.5

Ciudad	Cambios en 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, 2016a)

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 su prolongación temporal (2010-2015 y hasta la fecha), así como territorial, abarcando desde Coquimbo hasta la Araucanía (CR2, 2015).

⁴ Los cambios indican las diferencias de los valores con la línea base (1980-2011). (Fuente: MMA, 2016a)

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 (NMM)

En Chile la variación relativa del 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, 2016a). 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, 2016a).

3. CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO DE CHILE Y SU VUNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Para evaluar la vulnerabilidad del sector energético chileno frente a los impactos del cambio climático, se desarrolló un marco conceptual en base a los ejemplos internacionales de Girardi *et al*, (2015), Ebinger y Vergara (2011), Schaeffer *et al*, (2012), y ADB (2012), considerando las características del sector energético nacional (ver **Figura 2**).

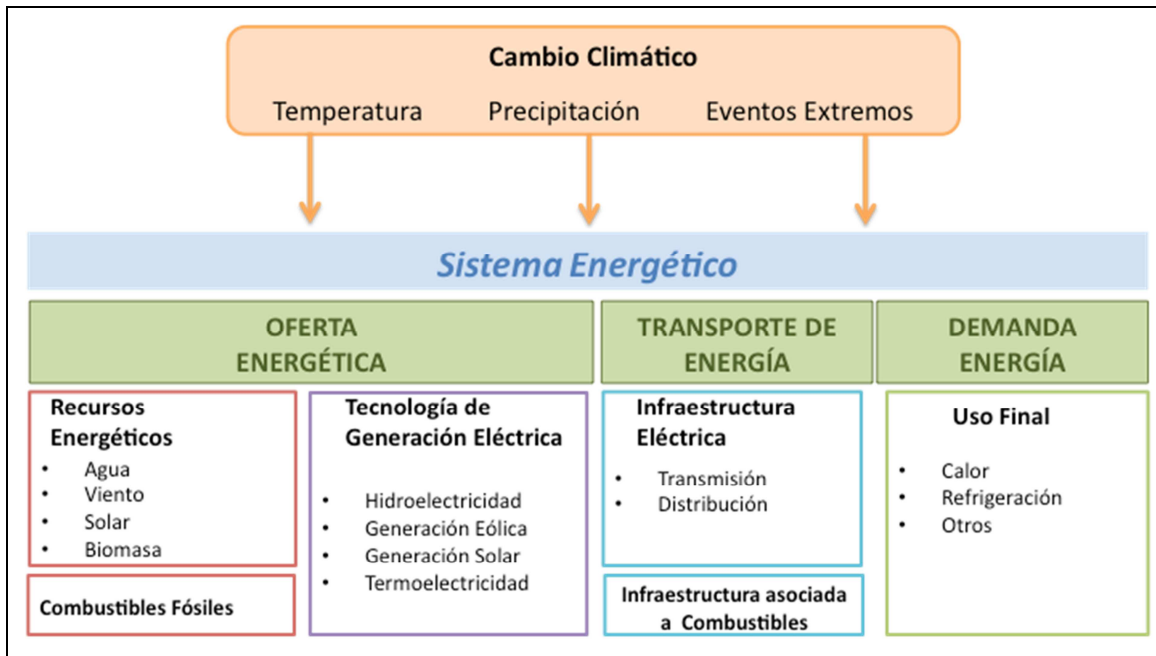


Figura 2. Modelo conceptual del impacto del cambio climático en el sector energético chileno

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI en base a (Girardi, Romero, & Linares, 2015).

El marco de análisis se organiza de acuerdo a los siguientes conceptos:

1. Oferta energética: considera desde la disponibilidad de recursos energéticos hasta la generación de energía eléctrica, relacionada con la composición de la matriz energética actual y su proyección. Es decir:
 - a. Recursos Energéticos: Se refiere a la dotación de recursos o matriz primaria de energía nacional, así como los combustibles importados. De acuerdo a las actuales políticas sectoriales, así como a las proyecciones de largo plazo, se hace relevante considerar la componente renovable, poniendo énfasis en los recursos agua, viento, sol y biomasa.

Los combustibles fósiles son parte de los recursos energéticos del marco conceptual, no obstante, no se abordan en el análisis debido a que los impactos se presentan en la extracción, y Chile es principalmente un importador de este recurso. Por otra parte, los recursos marinos y la geotermia no se consideran en el marco conceptual, ya que a pesar de su alto potencial, no tienen presencia relevante en el sistema energético actual, ni tampoco en las proyecciones actuales para el sector.
 - b. Tecnologías de Generación Eléctrica: Se refiere a la infraestructura y tecnologías de generación eléctrica que permiten la transformación de los recursos energéticos. Se consideran dentro de las tecnologías disponibles: generación hidroeléctrica, eólica, solar y termoeléctrica (en base a biomasa, así como de combustibles fósiles).

2. Transporte de Energía: Se refiere a la infraestructura, tanto eléctrica como aquella asociada a combustibles, necesaria para el transporte de la energía al usuario final. Es decir, esta componente contempla:
 - a. Infraestructura eléctrica de transmisión y distribución, como son las líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, transformadores, empalmes, etc.;
 - b. Infraestructura asociada a combustibles⁵, como son los terminales marítimos, plantas de refinación, almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos y estaciones de regasificación.

3. Demanda de Energía: Se refiere a la demanda final, es decir, desde el punto de vista del uso final de la energía. En el caso chileno, resulta de interés analizar el uso en calor y refrigeración, como componente final de uso de los sectores transporte, comercial, público y residencial (CPR) e industrial y minería.

Para el análisis de posibles impactos en el caso chileno, se consideran los cambios en las principales variables físicas (temperatura, precipitación, caudal, eventos extremos y otras

⁵ El Plan de Adaptación de Infraestructura del Ministerio de Obras Públicas incorpora la infraestructura vial, por lo que no se considera en el marco conceptual del sistema energético (asociado a transporte de combustibles en carreteras).

variables como humedad, vientos), como amenaza⁶ para el sector energético. Los diferentes cambios en las variables físicas conllevan a un potencial impacto sobre el sector energético del país, las cuales, dependiendo de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa de cada elemento del sector, agregan mayor o menor relevancia.

A continuación, se examinan todos los elementos del marco conceptual del sector energético del país, para comprender esta interacción entre amenaza, exposición y sensibilidad del sector energético, identificando impactos y su relevancia.

3.1 Caracterización del Sector Energético Chileno

Para obtener una comprensión más amplia del sector y de la infraestructura que está expuesta a los cambios del clima futuro, las siguientes secciones caracterizan la matriz energética en su cadena de suministro completa, desde la oferta (matriz primaria de energía), el proceso de transformación o generación, el transporte de energía, y el consumo final (matriz secundaria de energía⁷).

3.1.1 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 2015, el principal aporte provino de los combustibles fósiles (petróleo crudo, gas natural y carbón) sumando un 70% y cuya provisión depende en un 97,7% de importación. Por otro lado, la producción de biomasa representa el 23%, y en menor proporción están los recursos energéticos para la generación hidroeléctrica, solar y eólica con un total de 7% (CNE, 2016). La **Figura 3** presenta gráficamente la composición de la matriz primaria al año 2015.

⁶ El concepto de amenaza corresponde a "*aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él*". Se debe considerar además su ubicación, severidad y frecuencia, para evaluar el potencial de afectación adversa para el ser humano, sus estructuras y sus actividades. Fuente: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/ch005.htm>.

⁷ Se utiliza la definición de la matriz secundaria indicada en la Política Energética Nacional al 2050 (PEN2050) (Ministerio de Energía, 2015), donde se indica que ésta muestra la participación que tienen los energéticos en el consumo final de energía.

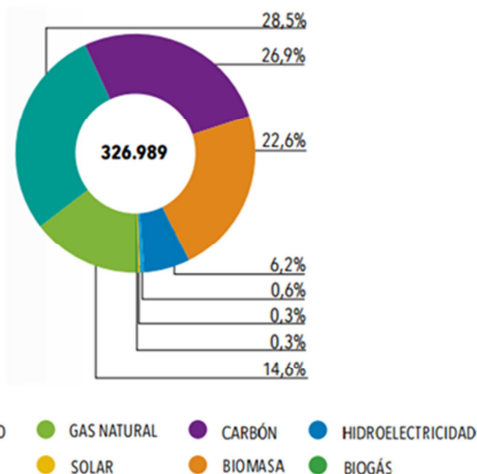


Figura 3. Total nacional y porcentaje de los recursos energéticos en Chile en el año 2015, en unidades de Tcal y %.

Fuente: Balance Nacional de Energía 2015

Generación eléctrica

Respecto al sector eléctrico, a lo largo de Chile existen seis sistemas interconectados: Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) que abarca las regiones de Arica-Parinacota, Tarapacá y Antofagasta; el Sistema Interconectado Central (SIC), que cubre desde la rada de Paposo por el norte (Segunda Región) hasta la isla de Chiloé por el sur (Décima Región); el Sistema de Aysén (SEA); Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM), el Sistema de Los Lagos e Isla de Pascua. Cabe mencionar que el año 2018 los sistemas SIC y SING serán interconectados entre sí. La **Figura 4** presenta la distribución territorial de los primeros cuatro sistemas y sus respectivas capacidades instaladas a abril de 2017.

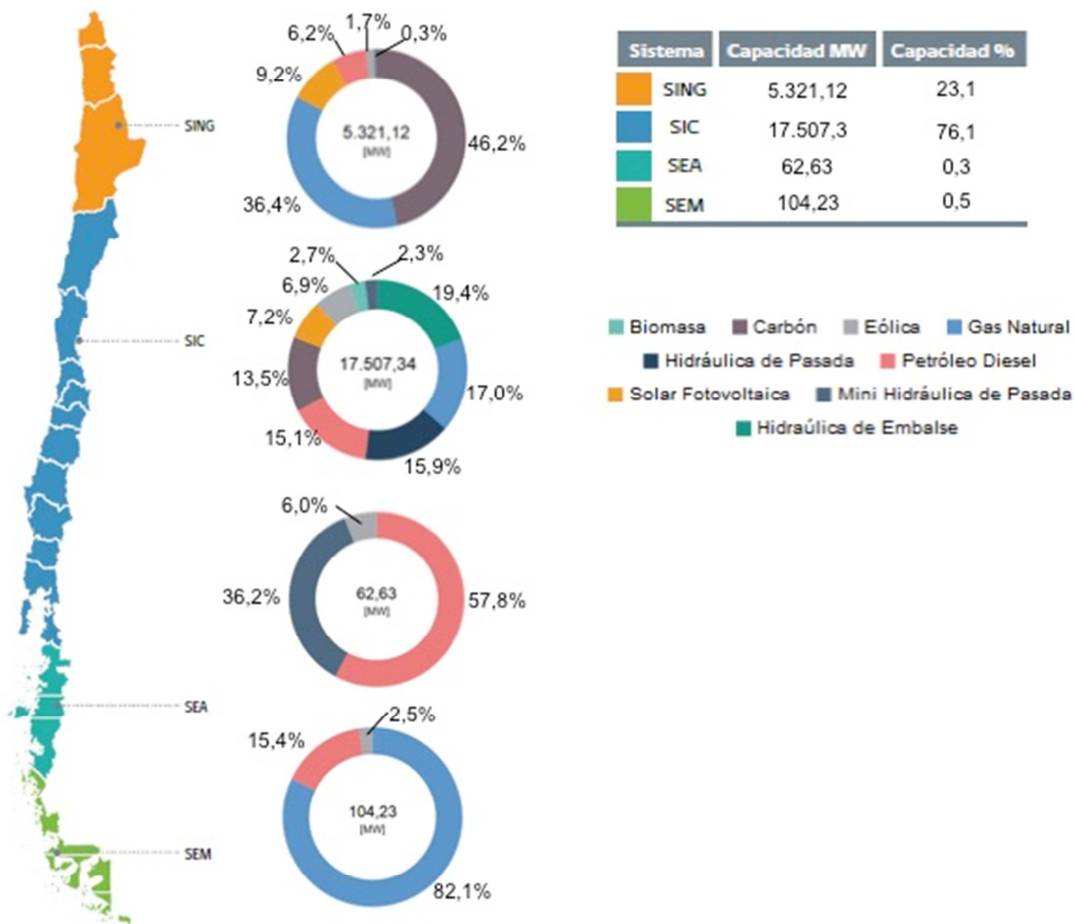


Figura 4. Capacidad instalada en los sistemas de generación de electricidad en Chile, actualizada a abril de 2017.

Fuente: Consorcio EBP, Eridanus y CBI en base a la información de Energía Abierta⁸

3.1.2 Transporte de Energía

Infraestructura eléctrica

La transmisión 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

⁸ <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>

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 V Región. 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 al transporte de los combustibles derivados del petróleo, productos refinados, son transportados a los clientes mayoristas a través de oleoductos, barcos o camiones. Existen 29 terminales marítimos para estos fines y 33 tramos de oleoductos, que alcanzan una longitud total de 1.735,1 km (IDE Energía, actualizado a diciembre de 2016) (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 marítimos de Quintero (V Región) y Mejillones (II Región), 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 Antofagasta, con una extensión total de 2.594,4 km (estimado a partir de IDE Energía, diciembre de 2016).

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	Infraestructura asociada a combustibles				
	eléctricas	Plantas de Almacen.	Tramos de Gasoductos	Tramos de Oleoductos	Terminales Marítimos	Plantas Regasificación
XV Arica y Parinacota	15	3			2	
I Tarapacá	37	5			2	
II Antofagasta	119	6	11		3	
III Atacama	59	2			4	
IV Coquimbo	32	5			1	2
V Valparaíso	95	9	3	15	9	2
XIII Metropolitana	154	8	6	2		18
VI O'Higgins	57	3	2			8
VII Maule	59	3		1		4
VIII Biobío	157	11	23	4	3	5
IX La Araucanía	26	2				2
XIV Los Ríos	18					1
X Los Lagos	39	5			1	4
XI Aysén	23	5			1	
XII Magallanes y Antártica	5	4	11	11	3	
TOTALES	895	71	56	33	29	46

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI desde las bases de datos de IDE Energía a diciembre de 2016.

3.1.3 Demanda de Energía

La matriz de consumo final de energía (o matriz secundaria) del balance nacional, muestra la estructura del consumo final de energía por tipo de fuente, que en el año 2015 alcanzó un valor total de 278,061 TCal, compuesta por los combustibles derivados del Petróleo (56%), Electricidad (22%), Biomasa (15%), Gas Natural (6%) y Carbón (1%) (CNE, 2016). La **Figura 5** presenta gráficamente la composición de la matriz secundaria al año 2015.

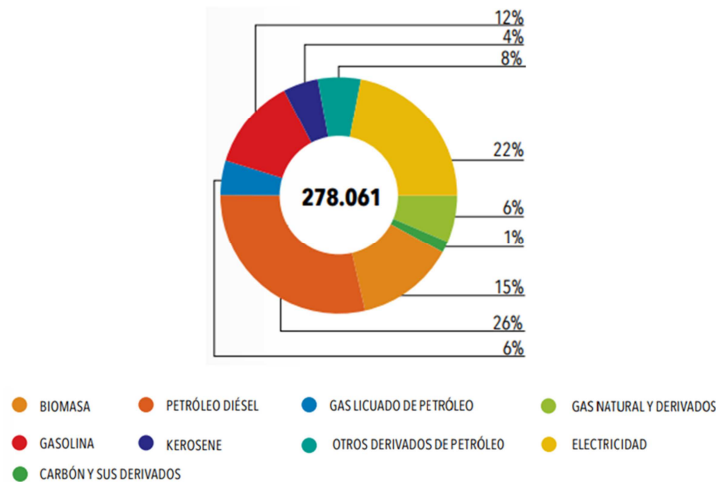


Figura 5. Total y porcentaje del consumo final en Chile del año 2015 (matriz secundaria) en unidades de Tcal y %.

Fuente: Balance Nacional de Energía, 2015

Además de las fuentes de energía primaria y el 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 2015 son Industria y Minería (39%), seguido por Transporte (35%), y Consumo Comercial, Público y Residencial (21%). El 5% restante se atribuye al sector energético (consumo propio) e industrial (consumo no energético) (CNE, 2016) (ver **Figura 6**).

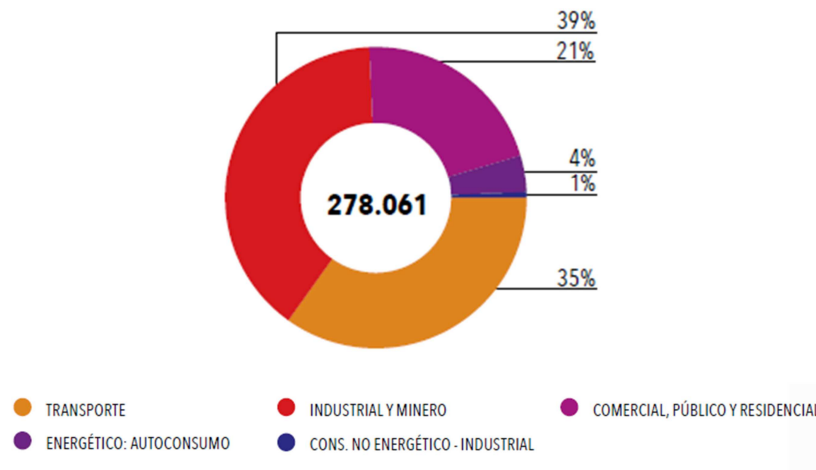


Figura 6. Total del consumo final y porcentaje en Chile en el año 2015 (matriz secundaria) por sector económico, en unidades de Tcal y %.

Fuente: Balance Nacional de Energía, 2015

3.1.4 Tendencias para el sector 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, cada cinco años, deberá desarrollar 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 se encuentra en el primer proceso de planificación de largo plazo y en su informe preliminar 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 entre 70% y 90% al 2046, dependiendo del escenario. En cuatro de los cinco escenarios se cumple con la meta de la PEN2050 de participación de las energías renovables (ER) en el sistema, correspondiente al 60% al año 2035 y 70% al 2050.

A modo de referencia, la **Figura 7** presenta el escenario B, que representa al de mayor penetración de ER. Se aprecia que a futuro es plausible que la energía solar de concentración (CSP por su sigla en inglés), solar fotovoltaica (FV), eólica e hidroeléctrica, sean parte importante de la matriz de generación, desplazando la participación de derivados del petróleo.

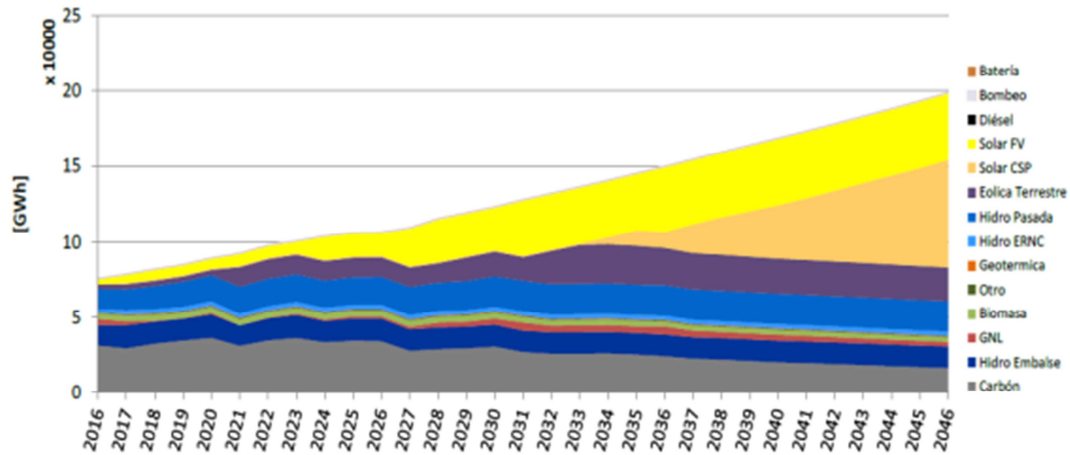


Figura 7. Generación eléctrica esperada por tecnología, Escenario B.

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 8** 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.

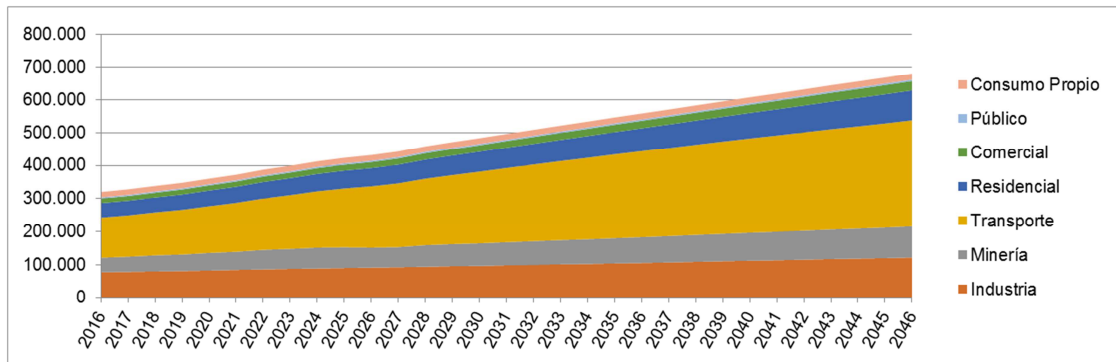


Figura 8. Proyección preliminar de demanda media según sector, período 2016-2046.

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI en base a la información facilitada por el equipo del Proceso de Planificación Energética de largo plazo del Ministerio de Energía.

Cabe señalar que en el proceso de desarrollo de la Planificación Energética de Largo Plazo se consideró el cambio climático, tanto en oferta como en demanda, al replicar series hidrológicas históricas como escenarios futuros. Así, desde la oferta, se incluye el cambio climático como análisis de sensibilidad, 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 antigua, producto del cambio climático. Quizás este enfoque no representaría de buena forma lo que sucederá en el futuro con cambio climático, por lo que se estima necesario realizar nuevos análisis, contemplando ahora 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.

3.2 Análisis de Impactos del Cambio Climático en el Sector Energético Nacional

Este capítulo presenta el resumen de los impactos del cambio climático identificados para los diversos subsectores del sector energético del país, caracterizados por cambios en la temperatura (T°), en las precipitaciones (PP), en el caudal (Q) de los ríos, en eventos extremos y otras variables climáticas. Adicionalmente se describen las brechas existentes en las diferentes características.

En Anexo 1, se describen en detalle los impactos para cada recurso, las tecnologías de generación, así como en la demanda energética. Para efectos de facilitar la lectura del presente Anteproyecto, se resumen aquí en tablas, los impactos analizados.

3.2.1 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°), precipitación (PP), caudal (Q) y eventos extremos. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los impactos en el recurso agua.

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

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI.

Brechas de información

Las tendencias generales se han estudiado, no obstante, el *downscaling* a nivel local no ha 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 permiten 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. En la Tabla 5 se presenta un resumen de los impactos en el recurso solar.

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,	<ul style="list-style-type: none">• Aumentos de radiación solar en zona centro y centro sur del país• Disminución en zona austral

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017.

Brechas de información

A pesar que un estudio en elaboración por la Universidad de Santiago (proyección del impacto del cambio climático bajo el escenario RCP4.5 sobre la radiación solar), aborda

una brecha importante de evaluación de impacto sobre el recurso solar, se debe profundizar en sus conclusiones. De todas maneras, se destaca como una oportunidad la disponibilidad del recurso solar por las mejores condiciones en la zona centro y centro sur del país.

☉ **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.

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

Variable	Tendencia	Impacto en recurso viento
Otras Variables	Cambios en patrones de viento	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la disponibilidad del recurso eólico (aumentos o disminuciones)

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

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 preveer 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 también se ve afectado por cambio climático en variables como temperatura (T°), precipitación (PP), caudal (Q) y eventos extremos. En la Tabla 7 se presenta un resumen de los impactos en el recurso biomasa.

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

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

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 la intensificación de la competencia del 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 las 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

En los siguientes párrafos se describe el resumen de los impactos en las diferentes tecnologías de generación de energía.

○ **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.

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

Variable	Tendencia	Impacto en generación hidroeléctrica
Q (T°yPP)	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> • Sobredimensionamiento de plantas existentes • Disminución de almacenamiento en embalses y reservorios • Disminución de generación hidroeléctrica, especialmente en temporada de deshielos • Aumento de competencia y conflictos por el agua
Eventos Extremos	Precipitaciones extremas, crecidas y sequías	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de costos de mantención y operación • 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) • Episodios de sequía: disminución de niveles en los embalses y aumento de conflictos por usos del agua • Todas las anteriores pueden conllevar a posibles interrupciones de la producción de energía o su disminución

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

Brechas de información

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

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"> • Disminución del rendimiento de paneles solares, pero de poca relevancia

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017.

Brechas de información

Las principales brechas de información son la falta de estudios nacionales respecto del impacto, así como la escasa red de monitoreo de radiación. No obstante, 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.

☉ **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.

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017.

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.

○ 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.

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

Variable	Tendencia	Impacto en generación termoeléctrica
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de eficiencia de grupos electrógenos, calderas y turbinas • Disminución de eficiencia de sistemas enfriados por aire • Disminución de generación total
PP y Q	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de recarga de acuíferos y aumentos de costos de refrigeración por agua (para termoeléctricas que usan este recurso) • Reducción de eficiencia de ciclos térmicos
Eventos Extremos y Otras Variables	Marejadas, inundaciones, sequías y olas de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Marejadas e inundaciones: posibles daños en la infraestructura • Olas de calor: posible disminución en la eficiencia de generación, y en la producción de energía • Sequías: posibles aumentos en costos de refrigeración; y posible aumento de costos, por desalinización de agua en casos que aún utilicen agua continental

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

Brechas de información

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

3.2.2 Transporte de Energía

A continuación, se indican los impactos esperados en la transmisión y distribución (T&D) de la infraestructura eléctrica y asociada a combustibles, y su infraestructura asociada. 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

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

Brechas de información

Las principales brechas de información que surgen es la falta de estudios nacionales que identifiquen los impactos sobre la infraestructura de transmisión y distribución. 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 Anteproyecto del 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 destacó eventos como aluviones, remoción en masa, heladas e incendios.

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.

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

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

Brechas de información

Las principales brechas de información es que no se encontraron estudios nacionales que analicen los impactos en la infraestructura. 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 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).

3.2.3 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 (CPR) 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 impactos por demanda de energía.

Impactos en la demanda de calor y refrigeración en los distintos sectores

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

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 un aumento en la demanda de refrigeración y disminución en la 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.

Impactos en la demanda por otros usos finales de la industria y minería

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

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

Brechas de información

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

3.2.4 Resumen de Impactos del Cambio Climático sobre el Sector Energético Chileno

Como se ha revisado en extenso la literatura nacional e internacional, los cambios futuros de las variables físicas 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 en las secciones previas, 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, tal como resume la **Tabla 16**. Para los distintos elementos del marco conceptual como son los recursos energéticos, generación, transporte y demanda de energía, la tabla recoge y diferencia aquellos casos con los que se cuenta información nacional en la forma de estudios (color azul) y aquellos en los cuales solo se tiene opinión experta, es decir, que no se encuentra validada por algún estudio (color naranja). También se diferencian aquellos impactos reconocidos en la literatura internacional, pero con tendencia desconocida (TD) para Chile debido a la falta de información nacional y local; y aquellos sin impactos esperados (0) (ver **Tabla 16**).

Tabla 16. Resumen de impactos del cambio climático en el sector energético,

Escala	Indicador	T°	PP	Q (PP, T°)	Otras Variables				Eventos Extremos											
					Aumento	Disminución	Disminución	Alza N. del Mar	Radiación	Nubosidad	Humedad	Viento	Olas de calor	Heladas	T° extremas	Marejadas	PP intensas	Sequia	Inundaciones	Vientos extremos
0	Sin información de impactos																			
+/-	Impactos + o - sin validación nacional																			
+/-	Impactos + o - estudiados en Chile																			
TD	Se esperan cambios, pero con tendencia desconocida																			
Recurso	Agua	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Solar	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Viento	0	0	0	0	0	0	0	0	TD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Biomasa	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	0	-
Generación	Hidroeléctrica	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-	0
	Solar	-	0	0	0	+	TD	TD	0	-	0	0	0	-	0	0	-	0	-	0
	Eólica	0	0	0	0	0	0	0	0	TD	0	+	0	-	0	0	-	TD	-	0
Transporte de Energía	Termoeléctrica	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0
	Infraestructura Eléctrica	-	0	0	0	0	0	0	TD	0	-	TD	0	0	0	0	-	-	-	0
Demanda de Energía	Infraestructura Combustibles	TD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
	Calor	+								+	+									
	Refrigeración	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0
	Otros	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaborado por Consorcio EBP, Eridanus y CBI, 2017

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. 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 máximas, 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, considerando la componente territorial.
- Se requieren estudios de impacto del cambio climático sobre el recurso viento y las tecnologías de generación eólica.
- Se debe 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.

3.3 Priorización de Impactos del Cambio Climático sobre el Sector Energético Chileno para el Plan de Adaptación

A partir del análisis realizado, se identifican aquellos impactos que surgieron como prioritarios durante los talleres regionales y por opinión de los expertos consultados, para ser abordados por las medidas consideradas por la Propuesta del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Chileno:

- La disminución del caudal en la generación de hidroelectricidad
- Los aluviones para la generación de hidroelectricidad
- La sequía para la hidroelectricidad
- La sequía y los incendios para el recurso de biomasa
- Las olas de calor para la generación de termoelectricidad y de la demanda para la refrigeración
- Las marejadas, inundaciones y aluviones para la infraestructura de distribución de combustibles
- Los vientos, los aluviones e incendios para la infraestructura eléctrica (infraestructura de generación, transmisión y distribución de energía)

De acuerdo a los impactos descritos anteriormente, en la siguiente sección se plantea el Plan de Adaptación al Cambio Climático propuesto para el sector Energía.

4. PLAN DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÍA

4.1 Principios del Plan

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 los planes nacionales y sectoriales de cambio climático.
- De racionalidad económica y en consistencia con el principio precautorio.
- Que sea monitoreable y muestre dinamismo y flexibilidad.

4.2 Objetivo del Plan

Generar y fortalecer la capacidad de prevención y respuesta del sector energético al cambio climático, promoviendo el desarrollo de un sistema energético resiliente, generando y fortaleciendo las capacidades institucionales adecuadas, de forma de ir aprovechando oportunidades y abordando las amenazas.

4.3 Líneas de acción

Las líneas de acción propuestas se estructuran en base al modelo conceptual de análisis propuesto para el sector, a saber, oferta energética, transporte de energía, demanda de energía y actividades transversales y de gobernanza.

- **Línea de Acción 1 (LA1). Oferta Energética:** “Analizar el comportamiento y disponibilidad de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente al cambio climático”.
- **Línea de Acción 2 (LA2). Transporte de Energía:** “Propender hacia un transporte de energía robusto y sustentable frente al cambio climático”.
- **Línea de Acción 3 (LA3). Demanda de Energía:** “Fomentar un confort y una calidad de vida para la población a nivel energético”.
- **Línea de Acción 4 (LA4). Gobernanza:** “Fortalecer la gobernanza para la toma de decisiones en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático”.
- **Línea de Acción 5 (LA5). Transversal:** “Desarrollar actividades transversales que aumenten la resiliencia del sector energético de Chile”.

4.3.1 Tipos de medida

Dado que los estudios analizados muestran una diversidad de categorías posibles para las medidas de adaptación, para Chile se propuso distinguir cada medida de acuerdo a su alcance, según lo siguiente:

- **Medidas habilitadoras (H):** Medidas orientadas a la generación de conocimiento robusto sobre la relación vulnerabilidad y resiliencia climática y el sector energía, de forma que los tomadores de decisión puedan acceder al conocimiento y los instrumentos necesarios para adaptarse al cambio climático.
- **Medidas de acción (Ax):** Medidas concretas de adaptación a nivel de ingeniería, gestión y/o planificación.
- **Medidas de fortalecimiento y coordinación institucional (FCI):** Medidas que definen el marco institucional -político y regulatorio – y la correspondiente coordinación institucional para la adaptación al cambio climático.

A continuación, se despliega una lista de las medidas de adaptación, en las cuáles se especifica el tipo de medida por su alcance.

4.3.2 Medidas de adaptación

De acuerdo a los impactos al cambio climático priorizados en el sector energético, se definieron 15 medidas de adaptación para el sector de energía. En la Tabla 17 se resume la lista de medidas de adaptación priorizadas y en el Capítulo 5 se presentan las fichas de las medidas, donde se especifica el objetivo al cuál responden, una breve descripción y las acciones consideradas, además de actores involucrados. El alcance de cada medida se especifica entre paréntesis para cada una.

Tabla 17. Lista de medidas de adaptación priorizadas para la elaboración de fichas

Ficha	Medida
LA1. Oferta: Analizar el comportamiento y disponibilidad futura de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente al cambio climático	
1	Generar información a nivel regional del impacto del cambio climático en la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos de biomasa, viento y energía solar (H).
2	Promover y fortalecer análisis geográficamente más detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas (H).
3	Realizar un análisis sobre el rol de la generación distribuida en el mejoramiento de la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos extremos producto del cambio climático (H).
LA2. Transporte de Energía: Propender hacia un transporte de energía robusto y sustentable frente al cambio climático	
4	Integrar criterios de adaptación y resiliencia en las normas de distribución eléctrica y fomentar las redes inteligentes (FCI).

Ficha	Medida
LA3. Demanda de energía: Fomentar un confort y una calidad de vida para la población a nivel energético	
5	Realizar un estudio de proyección de la demanda energética por diferentes usos, incorporando la variable de cambio climático (H).
6	Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria (Ax).
7	Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por temperaturas extremas (Ax).
LA4. Gobernanza: Fortalecer la gobernanza para la toma de decisiones en el sector energético que propicien la adaptación del sector al cambio climático	
8	Fomentar la coordinación de actores públicos a nivel inter e intra sectorial en los distintos niveles territoriales, para impulsar la adaptación al cambio climático del sector energético (FCI).
9	Fomentar la cooperación público-privada en la generación, intercambio y difusión sobre los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en el sector energético (FCI).
LA5. Transversal: Desarrollar actividades transversales que aumenten la resiliencia del sector energético de Chile	
10	Generar información sobre la infraestructura eléctrica crítica vulnerable a eventos climáticos extremos y análisis de posibles medidas de adaptación (H).
11	Generar información sobre el impacto de eventos extremos como marejadas, aluviones e inundaciones sobre el transporte y almacenamiento de combustible, identificando medidas de adaptación (H).
12	Fortalecer la capacidad de gestión y respuesta ante eventos extremos que afectan al sector energético (Ax).
13	Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética (FCI).
14	Integrar los impactos del cambio climático en la planificación energética de largo plazo y en los procesos de expansión de la transmisión eléctrica (H).
15	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).

4.4 Monitoreo y actualización del Plan

El seguimiento y 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 servirá como base para la elaboración del Informe de Avance Anual de Implementación de las medidas del Ministerio de Energía que se debe presentar al Ministerio del Medio Ambiente.

La evaluación global y actualización del Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector energía se realizará cada 5 años, en coherencia con la Política Energética Nacional (PEN2050) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC 2014), en un proceso participativo integrando todos los actores relevantes, actuales y futuros, para la implementación de las medidas.

4.5 Comunicación y sensibilización

Se llevará a cabo una estrategia comunicacional de largo plazo del Plan de Adaptación que acompañe la implementación y su desarrollo futuro.

El objetivo de la estrategia comunicacional es, por un lado, informar a los actores relevantes y la población en general de las actividades que el sector energético está realizando en materia adaptación del sector energético, además de sensibilizar sobre la temática de adaptación al cambio climático.

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, presentando y discutiendo ejemplos positivos, avances en las medidas, desafíos y posibles respuestas, entre otras.

4.6 Integración de la adaptación al cambio climático en las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia de energía

La integración del tema de adaptación en las políticas y regulaciones existentes es un punto clave para el éxito de la estrategia de adaptación, que garantiza que el plan, su estrategia operacional y sus medidas específicas, sean implementadas, monitoreadas, evaluadas y rediseñadas regularmente. Algunos objetivos que se persiguen en la revisión de instrumentos de política pública y regulaciones corresponden a:

- Incorporar la adaptación del cambio climático en las evaluaciones periódicas de la PEN 2050
- 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.
- Incorporar la variable cambio climático en instrumentos de planificación territorial sectorial general, como por ejemplo, los Planes Energéticos Regionales (PER) u otros.
- Incorporar la variable cambio climático en los procesos de evaluación ambiental de proyectos de inversión energética.

4.7 Financiamiento del plan de adaptación del sector energía

La implementación del plan de adaptación involucra costos y necesidades de financiamiento. Como primera actividad de implementación, se estimará un marco de costos e identificarán fuentes apropiadas de financiamiento, tanto nacionales como internacionales.

5. Fichas de Medidas de Adaptación

LA1. Oferta Energética: Analizar el comportamiento y disponibilidad de los recursos energéticos frente al cambio climático y llevar la oferta energética a ser más resiliente al cambio climático.

Ficha 1	
Medida	Generar información a nivel regional del impacto del cambio climático en la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos como biomasa, viento y energía solar
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de acción	LA1: Oferta Energética
Objetivo	Generar información respecto a los recursos energéticos que sirva de base para la toma de decisiones en el sector energético.
Descripción	<p>Se han detectado importantes brechas de información en el comportamiento (y aprovechamiento) que tendrán los recursos energéticos tales como viento, la biomasa y la energía solar frente a impactos del cambio climático como una menor disponibilidad de agua, eventos extremos como la sequía, o una mayor radiación solar.</p> <p>Esta información es clave para planificar el desarrollo energético del país y adaptar la infraestructura de generación existente en base a los recursos analizados.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Definir recursos y áreas prioritarias a investigar y establecer los estudios necesarios a llevar a cabo 2) Desarrollar estudios para proyectar la disponibilidad y comportamiento de los recursos energéticos como biomasa, viento y energía solar
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	1) Estudios realizados
Responsables	Ministerio de Energía (MdE),
Colaboradores	Academia, CONAF, Ministerio del Medio Ambiente, sector privado, entre otros.
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 2	
Medida	Promover y fortalecer análisis geográficamente más detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas.
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de Acción	LA1: Oferta Energética
Objetivo	Contar con antecedentes e información actualizada que permitan, 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.
Descripción	<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, Dirección de Obras Hidráulicas, Sernageomin, Dirección Meteorológica de Chile, Ministerio del Medio Ambiente y privados, 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>
Plazos	5 años
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar un catastro y caracterización de toda la información pública existente respecto al recurso hídrico 2) Desarrollar un análisis y evaluación de la calidad de la información 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,

	<ul style="list-style-type: none"> 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 (ejemplo. empresas eléctricas y academia) 5) Desarrollar modelación hidrológica y desarrollar estudios que permitan evaluar puntos 1), 2) y 3), 6) Socializar, difundir resultados
Indicador de seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> 1) Catastro y evaluación de la información pública existente realizado, 2) Evaluación de requerimientos de información y nuevas estaciones meteorológicas 3) Información disponible en plataforma Web 4) Modelación hidrológica desarrollada 5) Campaña de información realizada
Responsables	Ministerio de Energía,
Colaboradores	Dirección General de Aguas, Coordinador eléctrico, Academia, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio del Medio Ambiente, Comisión Nacional de Riego, empresas y organizaciones privadas, otros por determinar,
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 3	
Medida	Realizar un análisis sobre el rol de la generación distribuida en el mejoramiento de la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos extremos producto del cambio climático.
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de acción	LA1: Oferta energética
Objetivo	Conocer el impacto de la generación distribuida como medida para fortalecer la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a eventos extremos
Descripción	<p>Los sistemas eléctricos se ven fuertemente impactados por eventos climáticos extremos causando en ocasiones cortes de suministro que afectan a la población.</p> <p>En la literatura internacional, la generación distribuida se plantea como una solución importante para reducir este riesgo y aumentar la resiliencia del sistema. Es necesario evaluar esta medida en el contexto nacional, considerando aspectos normativos y técnicos, incluyendo entre otros aspectos, el realizar un diagnóstico de la capacidad de carga de algunas redes de distribución eléctrica para sostener la nueva carga a partir de generación distribuida.</p>
Acciones	1) Realizar un estudio del impacto para determinar si la generación distribuida contribuye a aumentar la resiliencia de los sistemas eléctricos de Chile frente a eventos extremos, que incluya un análisis de factibilidad/capacidad requerida de la red de distribución.
Plazos	2 años
Indicador de seguimiento	1) Estudio realizado
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	Comisión Nacional de Energía (CNE), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Academia.
Otros aspectos relevantes	-

LA2. Transporte de Energía: Propender hacia un transporte de energía robusto y sustentable frente al cambio climático.

Ficha 4	
Medida	Integrar criterios de adaptación y resiliencia en las normas de distribución eléctrica y fomentar las redes inteligentes
Tipo de medida	Fortalecimiento y Coordinación Institucional
Línea de acción	LA2: Transporte de Energía
Objetivo	Fortalecer la capacidad de respuestas de las empresas distribuidoras de electricidad ante la ocurrencia de eventos extremos
Descripción	La distribución eléctrica en el país se realiza mayormente por líneas de distribución a cielo abierto, dejándolas particularmente vulnerables frente a la ocurrencia de eventos extremos, con los consecuentes cortes de suministro eléctricos.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar un análisis de vulnerabilidad a la normativa de distribución de la red eléctrica frente al cambio climático, incluyendo condiciones climáticas más extremas 2) Identificar las especificaciones a la normativa de forma de que las empresas distribuidoras puedan responder adecuadamente a las brechas identificadas y las potencialidades de incluir redes inteligentes 3) Identificar alternativas para realizar cambios a la normativa, considerando los eventos climáticos extremos
Plazos	3 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Estudio normativo realizado 2) Medidas de adaptaciones identificadas 3) Alternativas de cambio normativo propuesto
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	Comisión Nacional de Energía (CNE), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), empresas privadas, Coordinador Eléctrico Nacional
Otros aspectos relevantes	-

LA3. Demanda de energía: Fomentar el confort y una calidad de vida para la población a nivel energético.

Ficha 5	
Medida	Realizar un estudio de proyección de la demanda energética por diferentes usos, incorporando la variable de cambio climático
Tipo de medida	Medida Habilitadora
Línea de acción	LA3: Demanda de energía
Objetivo	Estimar la demanda energética futura tomando en cuenta la variable cambio climático, para considerarla en la planificación energética de largo plazo y otros análisis
Descripción	En tiempos de olas de calor, la demanda de energía por enfriamiento es muy alta y puede llevar a un problema en el suministro de energía en el país.
Acciones	1) Realizar un estudio de proyección de la demanda energética, considerando los impactos del cambio climático
Plazos	2 años
Indicador de seguimiento	1) Estudio elaborado,
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	Academia, MINVU, Cochilco, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Ministerio del Medio Ambiente, entre otras.
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 6	
Medida	Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria
Tipo de medida	Medida de Acción
Línea de acción	LA3: Demanda de energía
Objetivo	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.
Descripción	En tiempos de olas de calor, la demanda de energía por climatización es muy alta y puede llevar a un problema en el suministro de energía en el país.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 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. 2) Avanzar en una regulación que establezca ciertas obligaciones a los grandes consumidores respecto de realizar una gestión permanente de la energía. 3) Estudiar el establecimiento de estándares mínimos de EE para equipos que tengan alto consumo de energía, con énfasis en equipos de climatización. 4) Desarrollar una campaña de información para sensibilizar e informar a los actores claves.
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Convenios suscritos 2) Ante proyecto de ley elaborado 3) Estudios de estándares mínimos elaborados 4) Campaña de información implementada,
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	AChEE; CORFO; sector privado
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 7	
Medida	Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por temperaturas extremas
Tipo de medida	Medida de Acción
Línea de acción	LA3: Demanda de energía
Objetivo	Reducir la demanda de energía por temperaturas extremas en edificaciones del sector público
Descripción	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).
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) A partir de la información entregada por el PMG de 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. 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.
Plazos	3 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Identificación de potenciales realizado 2) Programa operativo
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	AChEE
Otros aspectos relevantes	Esta medida es coherente con la medida 28 del Plan de Adaptación de Ciudades.

LA4. Gobernanza: Fortalecer la gobernanza para la toma de decisiones en el sector energético que propicie la adaptación del sector al cambio climático

Ficha 8	
Medida	Fomentar la coordinación de actores públicos a nivel inter e intra sectorial en los distintos niveles territoriales, para la adaptación al cambio climático del sector energético
Tipo de medida	Medida de fortalecimiento y coordinación institucional
Línea de acción	LA4: Gobernanza
Objetivo	Integrar los impactos del cambio climático en la toma de decisiones relativa al ámbito energético
Descripción	<p>Actualmente, se avanza en la elaboración de políticas y estrategias energéticas a nivel nacional, regional y local, sin considerar los posibles impactos del cambio climático.</p> <p>Considerando que los impactos del cambio climático se dan especialmente 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 para abordarlos.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 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). 2) Elaborar las bases de información del cambio climático y su impacto en el ámbito energético a lo largo del territorio (resumen de los conocimientos científicos y consecuencias para Chile y su sistema energético). 3) Desarrollar un protocolo de trabajo que muestra como los impactos del cambio climático pueden ser abordados en los distintos niveles territoriales y qué coordinaciones se requieren entre las distintas entidades públicas involucradas. 4) Realizar capacitaciones a nivel nacional, regional y local para presentar las bases de información y el protocolo de trabajo. 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.
Plazos	2 años
Indicadores de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Participación del sector energético en mesas de trabajo intrasectoriales, Comisiones Regionales de desarrollo Energético y CORECC. 2) Bases de información elaboradas. 3) Protocolo de trabajo elaborado. 4) Capacitaciones realizadas. 5) Equipo de apoyo operativo,

Responsables	Ministerio de Energía (MdE), SEREMIAS de Energía
Colaboradores	Ministerio de Medio Ambiente (MMA), SUBDERE, entre otros organismos.
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 9	
Medida	Fomentar la cooperación público-privada en la generación, intercambio y difusión sobre los impactos del cambio climático y las medidas de adaptación en el sector energético.
Tipo de medida	Medida de fortalecimiento y coordinación institucional
Línea de acción	LA4: Gobernanza
Objetivo	Desarrollar e intercambiar información sobre impactos y experiencias exitosas en su gestión, para aumentar la capacidad adaptativa del sector energía
Descripción	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 la experiencia de las medidas de adaptación adoptadas, es sumamente relevante para la toma de decisiones en materia de planificación para la adaptación al cambio climático del sector energético.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Analizar mecanismos que fomenten el trabajo colaborativo entre el sector público y privado, incluyendo el acceso a información sobre acciones de adaptación exitosas. 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. 3) Elaborar estudios específicos para cubrir las brechas de información.
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Mecanismo establecido y operativo 2) y 3) Estudios elaborados
Responsables	Ministerio de Energía (MdE), SEREMIAS de Energía
Colaboradores	Organizaciones privadas relacionadas con el sector energético
Otros aspectos relevantes	-

LA5. Transversal: Desarrollar actividades transversales que aumenten la resiliencia del sector energético de Chile

Ficha 10	
Medida	Generar información sobre la infraestructura eléctrica crítica vulnerable a eventos climáticos extremos y análisis de posibles medidas de adaptación.
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Conocer la vulnerabilidad de la infraestructura eléctrica y analizar posibles medidas de adaptación
Descripción	La infraestructura energética se encuentra expuesta a eventos climáticos extremos tales como marejadas, indicios y aluviones, La identificación de la vulnerabilidad de la infraestructura eléctrica expuesta a eventos climáticos extremos tales como centrales termoeléctricas ubicados en borde costero, infraestructura de transmisión y distribución expuesta a incendios forestales, entre otros, es clave para reducir este riesgo y aumentar la capacidad adaptativa de esta infraestructura.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar un estudio de vulnerabilidad de la infraestructura energética de Chile, incluyendo un análisis FODA. 2) Realizar un análisis de posibles medidas para aumentar la capacidad adaptativa de la infraestructura vulnerable, considerando entre otros aspectos, diseño, análisis territorial, etc. 3) Realizar un análisis de las políticas energéticas, de planificación y de la normativa existente para evaluar la posibilidad de incluir las medidas resultantes del punto 2. 4) Proponer modificaciones en la política y la normativa analizada en el punto 3)
Plazos	3 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Estudio de vulnerabilidad realizado 2) Estudio de medidas para aumentar la capacidad adaptativa realizado 3) Estudio de análisis político y normativos realizado 4) Propuestas para la modificación de políticas y normativa realizado
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	SEC, CNE, ONEMI, Ministerio del Medio Ambiente, CONAF, MINVU, MOP y Sector privado
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 11	
Medida	Generar información sobre el impacto de eventos extremos como marejadas, aluviones e inundaciones sobre el transporte y almacenamiento de combustible, identificando medidas de adaptación.
Tipo de medida	Medida habilitadora
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Asegurar el suministro de combustibles frente a eventos climáticos extremos
Descripción	La principal vía de abastecimiento de combustibles en Chile se realiza por vía marítima, almacenando el producto en estanques ubicados generalmente cerca de las costas. La distribución del producto hacia clientes finales es realizada por vía terrestre, el cual, en años anteriores, ha presentado dificultades al momento de exposición frente a eventos extremos y cortes de camino. En la actualidad, el abastecimiento de producto por vía marítima también ha experimentado problemas debido al aumento de frecuencia de malas condiciones en el mar, lo que imposibilita la descarga de combustibles.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar un análisis de vulnerabilidad de los sistemas de recepción de combustibles por vía marítima, almacenamiento y distribución hacia clientes finales, frente al cambio climático, incluyendo condiciones climáticas más extremas. 2) Identificar opciones para aumentar la resiliencia del almacenamiento y distribución de combustible que incluya opciones de diseño y de ubicación, entre otros. 3) Realizar un análisis de las políticas energéticas, de planificación y de la normativa existente para evaluar la posibilidad de incluir las medidas resultantes del punto 2. 4) Proponer modificaciones en la normativa y regulaciones de almacenamiento y distribución de combustibles.
Plazos	3 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis realizado 2) Opciones identificadas 3) Revisión de normativa y regulaciones realizada 4) Propuesta de modificaciones a la normativa y regulaciones desarrollada
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	CNE, ONEMI, SEC, y empresas privadas del sector combustible, Ministerio del Interior y Seguridad Pública
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 12	
Medida	Fortalecer la capacidad de monitoreo, gestión y respuesta ante eventos extremos que afectan al sector energético.
Tipo de medida	Medida de Acción
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Aumentar la capacidad de respuesta ante eventos extremos producto del cambio climático que afectan al sector energía
Descripción	<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>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 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. 2) Realizar un análisis de la normativa y procedimientos existentes, identificando brechas respecto de una buena capacidad de respuesta ante eventos extremos. 3) Actualizar los protocolos de coordinación y capacidad de respuesta ante eventos extremos con la información recabada.
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Participación en mesas u otras instancias de trabajo 2) Análisis de la normativa realizado 3) Actualización de protocolos
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	CNE, SEC, ONEMI, Ministerio del Interior y Seguridad pública y empresas privadas del sector eléctrico
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 13	
Medida	Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética
Tipo de medida	Medida Fortalecimiento y Coordinación Institucional
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Aumentar la resiliencia energética de las comunas a través del programa comuna energética
Descripción	<p>La estrategia energética local y el programa respectivo de la comuna energética, son instrumentos importantes a nivel local. Por el momento, estos conceptos no incluyen la mirada de largo plazo a nivel de la vulnerabilidad y resiliencia al cambio climático.</p> <p>La integración de la componente de resiliencia permite complementar los instrumentos con una mirada de reducir posibles riesgos que ocurren en el futuro por cambio climático.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar estudios o actividades pilotos en comunas energéticas seleccionadas, para identificar posibles riesgos frente al cambio climático. 2) Integrar el concepto de resiliencia al Programa Comuna Energética, en algunas de sus fases; Estrategia Energética Local, Implementación de proyectos y/o Sello Comuna Energética.
Plazos	5 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Estudios o pilotos realizados 2) Concepto integrado
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	Municipalidades, ONGs, Academia, entre otros
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 14	
Medida	Integrar los impactos del cambio climático en la planificación energética de largo plazo y en la planificación de la transmisión eléctrica
Tipo de medida	Medida Habilitadora
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Aumentar la capacidad adaptativa del sistema energético
Descripción	Actualmente, la planificación energética integra parcialmente la vulnerabilidad del cambio climático sobre las distintas fuentes y tecnologías que componen el sistema energético, así como sobre el consumo de energía.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 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. 2) Elaborar opciones para responder a las brechas identificadas para una planificación más robusta. 3) Considerar la metodología de planificación respectiva para integrar el aspecto de la vulnerabilidad al cambio climático. 4) Informar y difundir entre los actores involucrados.
Plazos	2 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis realizado 2) Medidas elaboradas 3) Procedimientos de planificación energética adaptados 4) Capacitaciones e informaciones realizadas
Responsables	Ministerio de Energía (MdE) , Comisión Nacional de Energía (CNE),
Colaboradores	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
Otros aspectos relevantes	-

Ficha 15	
Medida	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).
Tipo de medida	Medida Habilitadora
Línea de acción	LA5: Transversal
Objetivo	Aumentar la prevención y capacidad adaptativa del sistema energético
Descripción	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. El riesgo ambiental dado 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.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1) Realizar un análisis de las líneas de base de la evaluación de proyectos energéticos existentes, incluyendo la identificación de las brechas con respecto a la consideración de los impactos del cambio climático. 2) Analizar una estrategia para promover cambios en el Sistema de Evaluación Ambiental, a objeto de integrar la vulnerabilidad al cambio climático. 3) Informar a los actores clave involucrados y capacitar a los evaluadores, empresas energéticas y consultoras claves.
Plazos	3 años
Indicador de seguimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1) Análisis realizado 2) Estrategia desarrollada 3) Capacitaciones e informaciones realizadas
Responsables	Ministerio de Energía (MdE)
Colaboradores	Ministerio del Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental, Instituciones sectoriales con competencia ambiental, empresa privada
Otros aspectos relevantes	-

6. ACRÓNIMOS

AChEE	Agencia Chilena de Eficiencia Energética
ADB	Banco de Desarrollo de Asia
AR5	Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)
CDEC	Coordinador Eléctrico Nacional
CDKN	Alianza Clima y Desarrollo
CIF	Fondos de Inversión en el Clima
CNE	Comisión Nacional de Energía
COCHILCO	Comisión Chilena del Cobre
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CONAMA	Comisión Nacional de Medio Ambiente
CORECC	Consejos Regionales de Cambio Climático
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CPR	Sector Comercio, Público, y Residencial
CR2	Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia
CSP	Concentración Solar de Potencia
EE	Eficiencia Energética
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
ER	Energía Renovable
FV	Fotovoltaica
GNL	Gas Natural Licuado
IDE	Infraestructura de Datos Geoespaciales
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MdE	Ministerio de Energía
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NDC	Contribuciones Nacional Determinadas
NMM	Nivel Medio del Mar
ONEMI	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública
ONGs	Organizaciones No Gubernamentales
PANCC	Plan de Acción Nacional de Cambio Climático
PELP	Planificación Energética de Largo Plazo
PEN2050	Política Energética Nacional 2050
PMG	Programa de Mejoramiento de Gestión
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PP	Precipitación
Q	Caudal
RCP	Representative Concentration Pathways
SEA	Sistema Eléctrico de Aysén
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustible
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEM	Sistema Eléctrico de Magallanes

SEREMIAS	Secretarías Regionales Ministeriales
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SUBDERE	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
TD	Tendencia Desconocida
T&D	Transmisión y Distribución
T°	Temperatura

7. 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-cimatico-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., P. Rondanelli, R. Garreaud., & Muñoz. F. (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>

Carmona, R. (2015). Caracterización Física, Química y Energética de Biomasa Leñosa como Materia Prima Biocombustible. Obtenido de <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13089/201500001202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carrasco, J., Osorio, R., & Casassa, G. (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

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>

CNE, (2016). Anuario Estadístico de Energía 2016. Obtenido de <http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/anuariocne2016final3.pdf>

Colbún. (2017). Memoria Anual Integrada Colbún 2016. Obtenido de 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/ENCCR-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). Obtenido de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/5687-analisis-de-la-vulnerabilidad-del-sector-hidroelectrico-frente-escenarios-futuros>

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., & Vergara, W. (2011). Climate Impacts on Energy Systems. key issues for energy sector adaptation. Obtenido de <http://documents.worldbank.org/curated/en/580481468331850839/pdf/600510PUB01D181mpacts09780821386972.pdf>

Falvey, M., & Garreaud, R. (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., Romero, J., & Linares, P. (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

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

IPCC, (2013). Fifth Assessment Report Climate Change. The Physical Basis. Obtenido de http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.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, (2013/14). 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

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

Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Alvarez-Garretón, C., Oyarzún, C., . . . Arismendi, I. (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., Lara, A., McPhee, J., & Urrutia, R. (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
- 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
- McPhee, J., Rubio-Alvarez, E., Meza, R., Ayala, A., Vargas, X., & Vicuña, X. (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/10.1061/411143%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, (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
- 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
- Ministerio de Energía, (2017a). Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Obtenido de <https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwjq-frh2bHXAhXDMhokHa99D6EQFgg1MAM&url=http%3A%2F%2Fpelp.minenergia.cl%2Ffiles%2F16&usg=AOvVaw0BxRXeOi7BcUiGcxzriUDp>
- 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
- 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, (2016a). 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

Pryor, S. C., & Barthelmie, R. (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/eeeensus/v_3a14_3ay_3a2010_3ai_3a1_3ap_3a430-437.htm

PWC (PriceWaterhouseCoopers). (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

Schaeffer. R., Szklo. A., de Lucena. A., Borba. B., Nogueira. L., Fleming. F., Boulahya. M., (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

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. (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

8. ANEXO 1

8.1 Análisis de impactos del cambio climático en el sector energético nacional

El sector energía puede verse afectado por el cambio de las condiciones climáticas de muchas maneras, ya sea en forma positiva o negativa (Schaeffer, y otros, 2012) Para el análisis de posibles impactos en el caso chileno, se consideran los cambios en las principales variables físicas, como amenaza⁹ del sector. Estas son:

1. **Temperatura (T°):** Referida a la temperatura del aire, 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°)¹⁰:** Se identifican impactos debido a cambios en el caudal anual de ríos, así como en 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 muy intensas, sequías, inundaciones, aluviones, e incendios forestales.

Todos estos impactos sobre las variables físicas 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 continuación, se examinan todos los elementos del marco conceptual del sector energético del país, para comprender esta interacción entre amenaza, exposición y sensibilidad del sector energético, identificando impactos y su relevancia.

⁹ Una definición ampliamente aceptada caracteriza a las amenazas naturales como "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él". Se debe considerar además su ubicación, severidad y frecuencia, para evaluar el potencial de afectación adversa para el ser humano, sus estructuras y sus actividades. Fuente: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/ch005.htm>

¹⁰ 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.

Cabe destacar que el análisis sobre la identificación de impactos se basa en referencias nacionales de estudios oficiales de instituciones públicas, universidades o centros de investigación. Donde no existen estudios, se utilizan referencias internacionales, entendiendo que sus resultados no son necesariamente extrapolables al caso chileno, y por lo tanto se identifican para cada componente del sector las correspondientes brechas de información. Lo anterior es complementado con la opinión experta del equipo consultor, entrevistas a expertos y resultados de los talleres con actores clave en tres regiones del país.

8.2 Impactos del Cambio Climático Sobre la Oferta Energética

8.2.1 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 examina 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. El MdE, en su estudio de impactos sobre la generación de energía del SIC, del año 2012, destaca el aumento sostenido de la temperatura para los 16 sistemas de cabecera estudiados, desde Coquimbo al extremo sur. A modo de ejemplo, la cuenca del Maule estudiada el 2016 con proyecciones bajo RCP 8.5, presenta variaciones de 1,2°C en la ventana cercana de tiempo (2009-2039), mientras que en el largo plazo el aumento es de 2,6°C (2039-2069).

Por otra parte, el aumento de temperaturas medias también significará un derretimiento de glaciares (Carrasco, Osorio, & Casassa, 2008); (Falvey & Garreaud, 2009). Se destaca también los impactos en aumentos de evaporación desde reservorios (Schaeffer, y otros, 2012), cuerpos de agua naturales y artificiales. 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 (PriceWaterhouseCoopers), 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 Cortes y otros (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 9** 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.

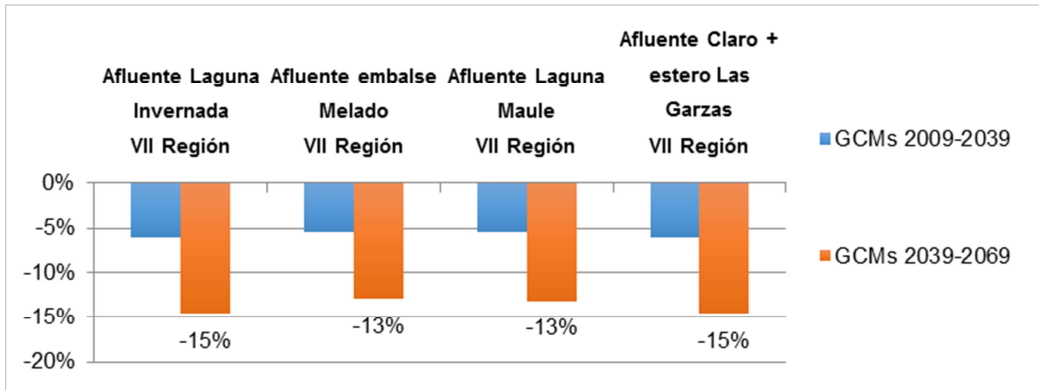


Figura 9. Diferencias porcentuales entre precipitación anual por periodo o ventana futura, para todos los sistemas modelados en escenario RCP8.5.

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). En general, el menor almacenamiento nival futuro debido al aumento de temperaturas hacia la cordillera, afecta la estacionalidad de los caudales, disponiendo de menor escorrentía en la temporada de deshielos, con una disminución general en escorrentía (Carrasco, Osorio, & Casassa, 2008); (Falvey & Garreaud, 2009); (Girardi, Romero, & Linares, 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 10** 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.

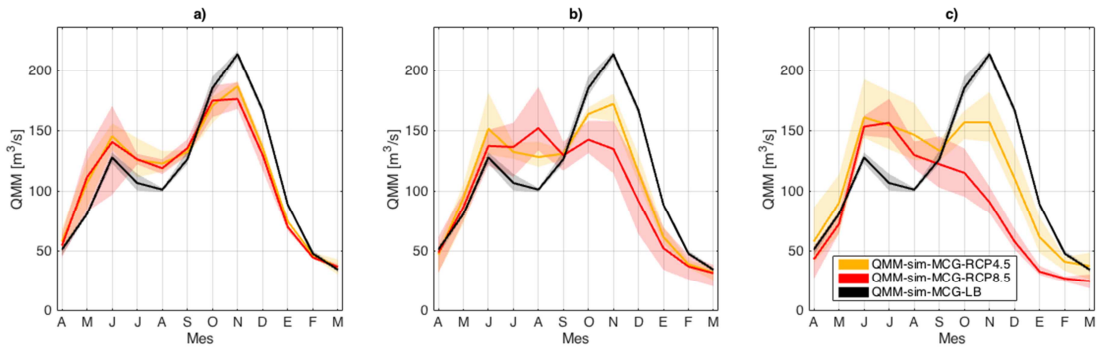


Figura 10. Comparación de los ensambles de caudales medios mensuales promedio de Melado, simulados en línea base (QMM-sim-MCG-LB) y para los escenarios RCP4.5 (QMM-sim-MCG-RCP4.5) y RCP8.5 (QMM-sim-MCG-RCP8.5), en las distintas ventanas futuras.

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 tres MCG. Fuente: (Ministerio de Energía, 2016b).

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 VF3, 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 Ministerio de Energía (2012). Los resultados muestran que los MCGs son consistentes en la proyección de una reducción de los caudales. El rango de variación en la segunda ventana (-36% a -1%) es inequívoco en señalar una disminución de los caudales para el período 2030-2050 (ver **Figura 11**, resultados para 16 cuencas desde la región de Coquimbo hasta la Araucanía).

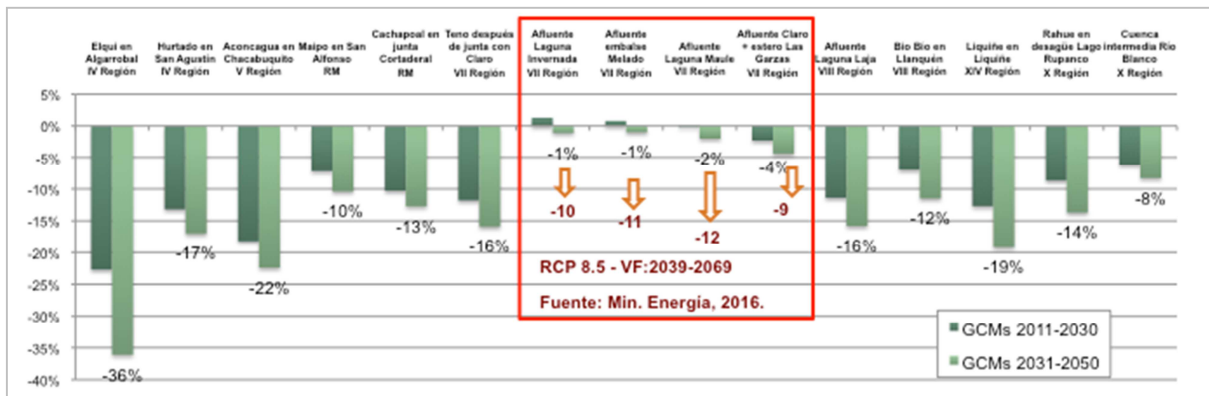


Figura 11. Resumen de las diferencias porcentuales entre el caudal anual promedio por periodo, para todos los sistemas modelados en escenario A2.

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

Fuente: (Ministerio de Energía, 2016b).

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 muy 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 12**).

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.

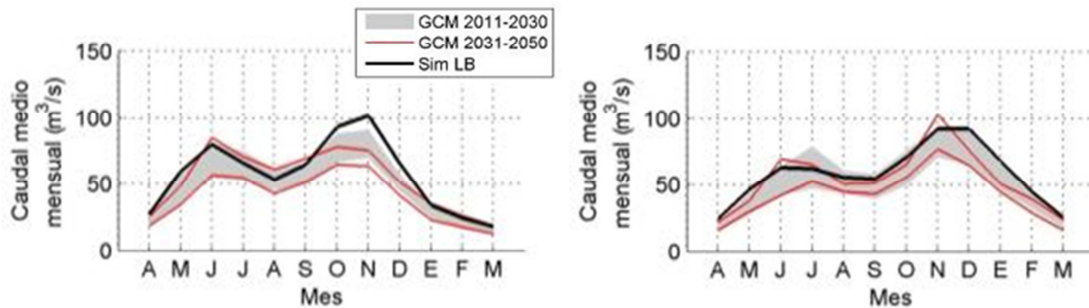


Figura 12. Variación estacional del año promedio en línea base (SimLB) y períodos futuros (gris y rojo). Figura izquierda: Cuenca Teno después de junta con Claro. Figura derecha: Cuenca Afluente Laguna Laja.

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 (VII Región) y Puclaro (IV), revelan que las variaciones de la precipitación máxima probable (o también llamado 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, 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 13). Por ejemplo, se espera que un caudal de T=10 años, igual a 550 m³/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 m³/s en el escenario A2 (364% de aumento).

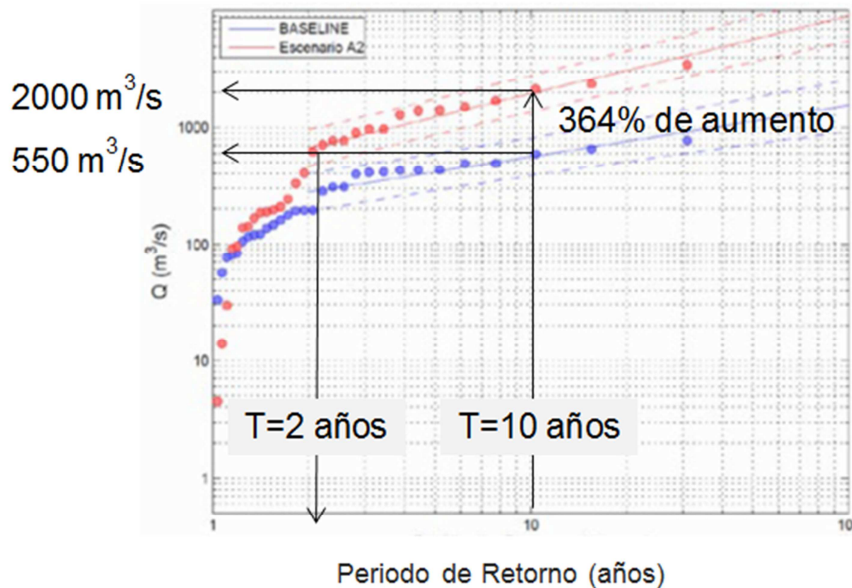


Figura 13. Análisis de frecuencia de caudales máximos diarios en la cuenca Maipo en el Manzano. Círculos: “observaciones”, líneas continuas: ajuste de Gumbel con parámetros medios; líneas segmentadas: ajuste de Gumbel con parámetros evaluados en límites de confianza.

Fuente: (DGF, 2009)

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.

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 *paper*¹¹ donde han proyectado el impacto del cambio climático bajo el escenario RCP4.5 sobre la radiación solar, para una muestra de 16 MCG para la ventana 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 local¹², los resultados del estudio responden al análisis de las alteraciones esperadas en los patrones de nubosidad, mostrando 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 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 cuales el cambio climático impactará en la dotación de recursos eólicos (Ebinger & Vergara, 2011); (Schaeffer, y otros, 2012), los cuales 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. El Explorador Eólico del MdE cuenta con una cobertura país de magnitud y dirección del viento, no obstante, esta es en un solo

¹¹ Liderado por el académico Raúl Cordero, de la Universidad de Santiago.

¹² 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.

año (2010) con campañas puntuales. No se dispone de una cobertura de red de monitoreos que permita hacer seguimiento a una línea base. **Recurso Biomasa**
En términos generales, la biomasa se puede definir como la materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma (Carmona, 2015). 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.

⊙ **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 Gral. 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, así como 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 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 el sector industrial y residencial.

☉ Resumen de Impactos

8.2.2 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 antes expuestos.

☉ 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 estacionalidad de los caudales. Todo ello afectará la generación hidroeléctrica, a saber:

- Sobredimensionamiento de las plantas existentes, siendo más severo en cuencas nivales y nivo-pluviales, obligándolas a operar bajo el óptimo. Aquellas obras proyectadas y en construcción serán igualmente afectadas si solo 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 14**). 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).

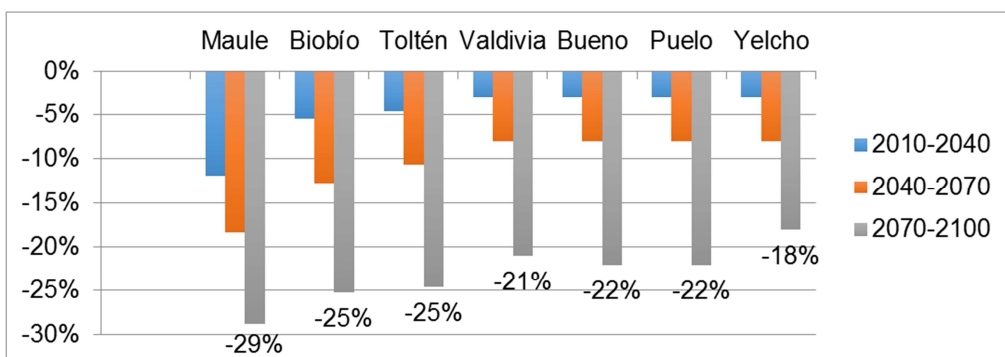


Figura 14. Cambios proyectados en la potencia media generable bajo escenario RCP 8.5. Fuente: Elaboración propia en base a Estudio de Cuencas, (Ministerio de Energía, 2016a).

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 15** se observan los resultados para alguna de las cuencas más importante en generación a nivel nacional (McPhee, y otros, 2010).

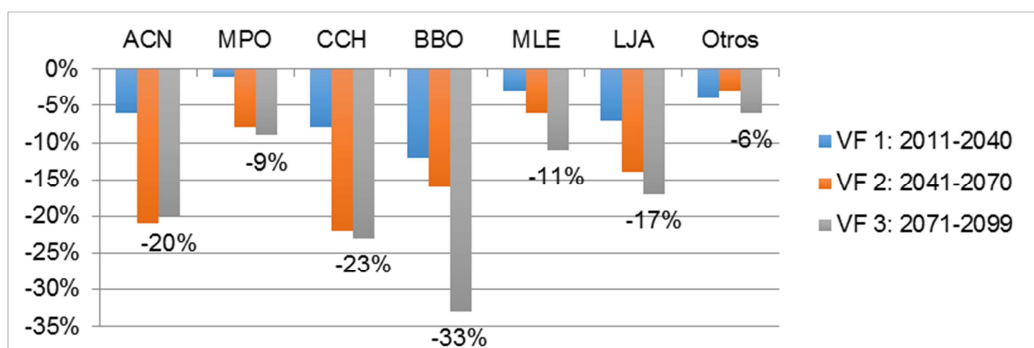


Figura 15. Variaciones porcentuales proyectadas de la producción de energía hidroeléctrica en Chile, escenario A2.

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. Fuente: Adaptado de (McPhee, y otros, 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 embalses, 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 16** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

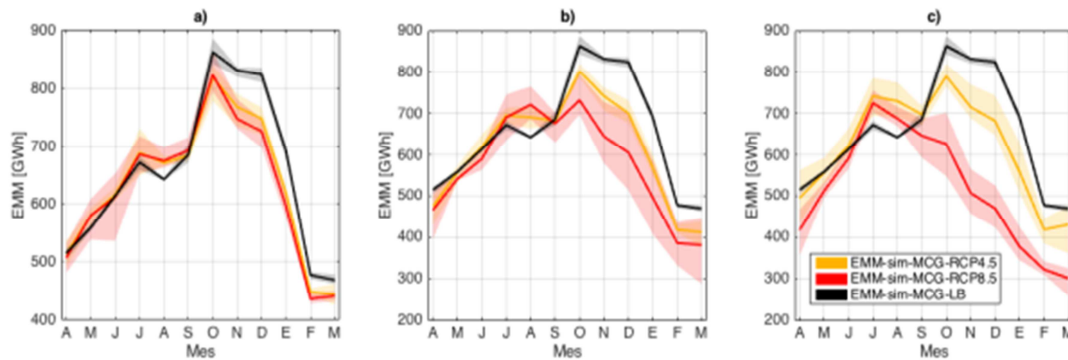


Figura 16. Comparación de los ensambles de energía bruta media mensual¹³ de Maule

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 (Villarroya, 2013); (Lagos, 2012); (DGF, 2009) e internacional (Schaeffer, y otros, 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 evidencia 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

¹³ 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.

crecida que sobrepasen la capacidad de los vertederos, pudiendo causar su destrucción parcial o total, con el consiguiente 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 de hidroelectricidad. Bajo el reciente escenario de sequía en Chile, el aporte de la hidroelectricidad al SIC cayó desde el año 2010 en adelante, anotando un mínimo en 2012 (20.104 GWh) cercano al mínimo generado en 2000 (18.323 GWh)¹⁴.
- 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 relevante¹⁵. 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 se calcula a una temperatura de 25°C, con una disminución de la producción que varía 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 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**

¹⁴ Fuente: <http://www.latercera.com/noticia/sequia-golpea-a-hidroelectricas-anotan-menor-aporte-de-energia-en-12-anos/>

¹⁵ Fuente: https://internacional.elpais.com/internacional/2017/02/27/actualidad/1488156815_737807.html

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 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 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, diaria u horaria de la velocidad del viento 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 puede 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, y otros, 2012). En Chile el Explorador Eólico del MdE 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 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 el 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 regiones 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, y otros, 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 aquellos 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, y otros,

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, afectarían 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, empresas como Colbún 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).

8.3 Impactos sobre el Transporte de Energía

8.3.1 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, y otros, 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, (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 usualmente 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 eléctricas¹⁶, 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, y otros, 2012). En el marco de los talleres 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, y otros, 2012).

A nivel nacional no existen estudios disponibles que establezcan esta relación. Sin embargo, la experiencia del último tiempo, la cual es ampliamente 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 amplias zonas de la zona

¹⁶ La red eléctrica une todos los centros generadores de energía eléctrica con los puntos de consumo, de este modo se consigue un equilibrio entre la cantidad de energía consumida y la producida por las centrales eléctricas. Fuente: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xv.-la-red-electrica

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.

8.3.2 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, y otros, 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 pondría en riesgo la infraestructura portuaria que recibe gran parte de las importaciones de combustibles, así como refinерías, plantas regasificadoras, oleoductos, gasoductos y toda instalación y equipos que se ubique 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, la evidencia indica que este es un fenómeno que ya está ocurriendo. La opinión experta recibida en talleres, indica 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 sobre-impactos en la infraestructura existente en el territorio nacional.

8.4 Impactos Sobre Demanda Energética (Uso Final)

8.4.1 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, Romero, & Linares, 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, y otros, 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 impactará 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, y otros, 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. Por el otro, 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 olas 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.

8.4.2 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 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 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 eventual disminución del rendimiento de los cultivos lo cual impactará en 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 para agua para consumo humano. Se espera además un desplazamiento de los cultivos industriales debido a los cambios en los patrones de precipitaciones, 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 que la utilizan.

○ **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 ubique 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. Así mismo 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.