



ENERGY PARTNERSHIP
CHILE-ALEMANIA



Fomentado por:



Ministerio Federal
de Economía
y Protección del Clima

en virtud de una decisión
del Bundestag alemán

Análisis de Infraestructura resiliente a la crisis climática para el sector energético

Informe final



IMPRINT

Este estudio fue llevado a cabo por el Centro de Energía de la Universidad de Chile en el marco de la Energy Partnership Chile-Alemania.

Los cooperantes principales son el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK) y el Ministerio de Energía de Chile, junto con numerosas instituciones afiliadas. La GIZ es el cuerpo ejecutor de la alianza.

Comisionado y publicado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Con sedes en Bonn y Eschborn, Alemania

Proyecto:

Energy Partnership Chile-Alemania

Contacto:

Energy Partnership Chile - Alemania

c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
 Marchant Pereira 150, 7500523 Santiago de Chile

✉ energyclde@giz.de

☎ +56 22 30 68 600

Jefa de proyecto:

Daina Neddemeyer
 Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Autores:

Rodrigo Palma, Rigoberto Torres, Carlos Benavides, Manuel Díaz, Sebastian Gwinner, Vicente Sepúlveda

Coordinación:

Energypartnership Chile - Alemania, GIZ Chile

Publicado en:

Santiago de Chile, pdf por Energy Partnership Chile-Alemania

Diseño : Energy Partnership Chile-Alemania

Fotografía e ilustraciones :

© ABCDstock / Shutterstock.com

Versión:

1ra edición, Berlín y Santiago de Chile, octubre 2023

GIZ es responsable por el contenido de esta publicación.

En representación del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK).

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-56-7. Primera edición digital: octubre 2023

Cita:

Título: Análisis de infraestructura resiliente a la crisis climática para el sector energético
 Autores: Centro de Energía de la Universidad de Chile: Rodrigo Palma, Rigoberto Torres, Carlos Benavides, Manuel Díaz, Sebastian Gwinner, Vicente Sepúlveda.
 Revisión y Modificación: Daina Neddemeyer, Patricio Bastias Ortiz, Bárbara Neira Espinoza, Michael Schmidt.
 Edición: Patricio Bastias Ortiz, Bárbara Neira Espinoza.
 Santiago de Chile, 2023.
 212 páginas
 Resumen: Análisis del estado actual de resiliencia climática en la política pública, legislación y normativas del sector energético eléctrico y combustibles, recomendación de acciones para avanzar en resiliencia climática y propuesta de guía metodológica para incorporar la resiliencia climática en la formulación de proyectos del sector energético.

Tabla de Contenidos

1	Introducción	14
1.1	Contexto y Motivación	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo General	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Actividades	16
1.3.1	OE A: Evaluación del estado de la resiliencia de la infraestructura	16
1.3.2	OE B: Análisis regulatorio y propuestas.....	17
1.3.3	OE C: Propuesta de pilotos de adaptación	17
1.3.4	OE D: Propuesta de guía de adaptación para proyectos energéticos ..	18
1.4	Contexto actual de crisis climática.....	18
1.5	Sobre concepto de resiliencia.....	22
1.5.1	Conceptos de acuerdo con el IPCC	22
1.5.2	Conceptos de acuerdo con el IIEEE	24
1.5.3	Concepto según documentos de política nacional	25
1.5.4	Concepto según Ley Marco de Cambio Climático	26
1.5.5	Análisis sobre el concepto e implicancias	26
2	Diagnóstico, revisión de antecedentes nacionales	28
2.1	Planes políticas y estrategias	28
2.2	Segundo tiempo de la transición energética	33
2.2.1	Descripción general.....	33
2.2.2	Agenda Inicial para un Segundo Tiempo de la Transición Energética 36	
2.2.3	Comentarios.....	38
2.3	Proyecto de Ley de Transición Energética	39
2.3.1	Descripción general.....	39
2.3.2	Cambios que introduce.....	39

2.3.3	Comentarios.....	40
2.4	Opiniones de actores locales	40
3	Diagnóstico, revisión de antecedentes internacionales.....	44
3.1	Selección de países y primer diagnóstico internacional	44
3.2	Revisión de experiencias previas	47
3.3	Sector eléctrico	49
3.3.1	Mejorar la resistencia a las inundaciones mediante la construcción de muros contra inundaciones (Reino Unido, segmento distribución y transmisión).....	49
3.3.2	Revisión de estándares de diseño de líneas aéreas (Reino Unido, segmento distribución y transmisión)	50
3.4	Sector otros energéticos (distintos al sector eléctrico).....	52
3.4.1	Puerto de San Diego – Marco de Gestión Adaptativo.....	52
3.4.2	Sistemas de alerta temprana basado en imágenes satelitales y monitoreo in situ.....	59
3.5	Experiencias en soluciones basadas en la naturaleza	62
3.5.1	Uso de SBN en la central hidroeléctrica Binacional de Itaipú.....	65
3.5.2	Caso de SBN: Infraestructura verde para enfrentar el fenómeno de las Islas de Calor Urbanas	67
3.6	Síntesis de experiencia internacional.....	73
4	Perfeccionamiento de la regulación nacional.....	74
4.1	Revisión de normativa nacional.....	74
4.1.1	Normativa eléctrica.....	74
4.1.2	Normativa de hidrocarburos.....	77
4.1.3	Ley Marco de Cambio Climático	82
4.2	Revisión de normativa internacional	83
4.2.1	Reino Unido.....	83
4.2.2	Japón	87
4.2.3	Alemania.....	89
4.2.4	Estados Unidos/California	95
4.2.5	Elementos destacables de la revisión internacional.....	98
4.3	Discusión y Recomendaciones.....	99

5	Pilotos y meta sectorial.....	103
5.1	Propuesta de pilotos.....	103
5.1.1	Formación de islas con PMGD	103
5.1.2	Obras de abrigo en bahía de Quintero.....	111
5.2	Meta sectorial a nivel de infraestructura resiliente y capacidad adaptativa al cambio climático para el sector energía.....	126
5.2.1	Revisión de metas existentes en el ámbito de la adaptación y resiliencia del sector energético.....	126
5.2.2	Propuesta de meta sectorial	127
6	Propuesta de guía para adaptación	129
6.1	Introducción	129
6.2	Propuesta metodológica	129
6.2.1	Paso 1: Descripción de del proyecto	131
6.2.2	Paso 2.1: Descripción variables climáticas y eventos críticos históricos en la zona del proyecto y área circundante.....	132
6.2.3	Paso 2.2: Proyección de variables climáticas y escenarios críticos... ..	133
6.2.4	Paso 3.1: Identificación del nivel de impacto de las variables climáticas a los distintos equipos e infraestructura del proyecto.....	133
6.2.5	Paso 3.2: Identificación del nivel de impacto de los eventos críticos según proyecciones a los distintos equipos e infraestructura del proyecto ..	134
6.2.6	Paso 4: Justificación de implementación del proyecto	136
6.2.7	Paso 5: Elaboración de medidas y planes de seguimiento	136
6.2.8	Paso 5.1: Identificar y seleccionar estrategias de adaptación y resiliencia	136
6.2.9	Paso 5.2 Definir monitoreo e indicadores de seguimiento	138
6.2.10	Paso 5.3 Desarrollar estrategia adaptativa ante cambios de variables climáticas.....	138
6.2.11	Paso 6. Descripción de riesgos y elaboración de planes de contingencia y de emergencia	139
7	Discusión final y conclusiones.....	140
Anexo A	Referencias.....	144
Anexo B	Acrónimos	149
Anexo C	Síntesis de documentos de política pública.....	150

C.1	Política Energética Nacional 2050 (PEN).....	150
C.1.1	Primera versión PEN 2015.....	150
C.1.2	Actualización PEN 2022.....	154
C.1.3	Comentarios.....	156
C.2	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.....	157
C.2.1	PNACC 2015.....	157
C.2.2	Actualización PNACC: enfoque de riesgo de desastres.....	159
C.2.3	Actualización PNACC: soluciones basadas en la naturaleza.....	160
C.2.4	Resumen PNACC.....	162
C.3	Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía 2018-2023	162
C.3.1	Descripción general.....	162
C.3.2	Impactos del cambio climático en variables relevantes para el sector de energía.....	163
C.3.3	Resumen de impactos esperados en el sector energético nacional ..	164
C.3.4	El plan de adaptación propuesto.....	171
C.3.5	Comentarios.....	175
C.4	Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030	175
C.4.1	Descripción General.....	175
C.4.2	Comentarios.....	182
C.5	Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP).....	182
C.5.1	Descripción general.....	182
C.5.2	Lineamientos de la adaptación a nivel nacional, sectorial, regional y comunal.....	183
C.5.3	Indicadores para monitoreo, reporte, verificación (MRV) y evaluación de la adaptación en el largo plazo.....	185
C.5.4	Objetivos y metas relacionados con adaptación y resiliencia.....	186
C.5.5	Comentarios.....	191
C.6	Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario 2022.....	191
C.6.1	Descripción general.....	191
C.6.2	Líneas estratégicas y medidas del PANCC SAP.....	192



C.6.3	Comentarios.....	194
C.7	Plan de Mitigación Adaptación Serv. Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022	194
C.7.1	Objetivos	195
C.7.2	Proceso de análisis.....	195
C.7.3	Lineamientos y medidas	196
Anexo D	Entrevistas a actores del sector	199
Anexo E	Reglamentos de la LMCC	201
Anexo F	Complemento de revisión de casos internacionales.....	204
F.1	Síntesis de revisión de documentos sobre casos pilotos.....	204
F.2	Manejo de riesgo de aluviones en centrales hidroeléctrica (segmento generación).....	206
F.3	Estrategia de adaptación a la gestión de inundaciones en el Puerto de Rotterdam (Programa Delta Rijnmond-Drechtsteden).....	207
F.4	AIE, stock de seguridad de 90 días de petróleo y acciones colectivas.....	208
Anexo G	SEC y Gestión de activos	209

Lista de Figuras

Figura 1.1: Tendencias climáticas. Temperatura.....	18
Figura 1.2: Tendencias climáticas. Precipitaciones.....	19
Figura 1.3: Tendencias climáticas. Viento.	19
Figura 1.4: Tendencias climáticas y eventos extremos.....	20
Figura 1.5: Impacto del clima en infraestructura de los Sistemas Eléctricos de Potencia.	21
Figura 1.6: Conceptualización de vulnerabilidad climática según el IPCC (AR5 2014)...	23
Figura 1.7: Concepto de Resiliencia como proceso dinámico, IEEE 2018.	25
Figura 2.1: Esquema de acciones políticas, legislativas, reglamentarias y planes para la transición energética acelerada.....	34
Figura 2.2: Resumen del Plan de Medidas de Corto y Mediano Plazo para la Transición Energética Acelerada. Fuente: Ministerio de Energía	36
Figura 3.1: Construcción de barreras de protección de subestaciones.....	50
Figura 3.2: Esquema red de distribución y transmisión en Reino Unido.	51
Figura 3.3: Ubicación del proyecto “Wetland Mitigation Bank at Pond 20”, puerto de San Diego, California.	58
Figura 3.4: Puerto de Antofagasta (arriba-izquierda), puertos en zona de Quinteros y Puchuncaví (arriba-derecha), puerto de Valparaíso (abajo-izquierda) y puerto de San Antonio (abajo-derecha).....	59
Figura 3.5: Interfaz del S2S4E. Fuente: https://s2s4e-dst.bsc.es	61
Figura 3.6: Resultado de proyección de temperaturas en Europa del S2S4E. Fuente: https://s2s4e-dst.bsc.es	61
Figura 3.7: Represa de Itaipú. Fuente: https://www.itaipu.gov.br/en/press-office/photos	66
Figura 3.8: Sistema de Infraestructura Verde Urbana Multifunción de Vitoria-Gasteiz (SIVU). Fuente: Diputación de Barcelona (2019).....	71
Figura 3.9: Gasto mensual promedio por hogar en energía (\$). Fuente: EBP Chile, et al (2017)	72
Figura 5.1: Potencia instalada PMGD por tipo de tecnología. Fuente: SEC.....	105
Figura 5.2: Potencia instalada PMGD por tipo de tecnología y región. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC.....	106
Figura 5.3: Potencia instalada hidroeléctrica PMGD y demanda punta del año 2022 por S/E primaria. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC y Coordinador Eléctrico.	107

Figura 5.4: Número de centrales hidroeléctricas PMGD por alimentador, destacándose potenciales ubicaciones candidatas. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC ..	108
Figura 5.5: Recortes de prensa sobre cortes de suministro en Chonchi y Quellón 1, 2.	109
Figura 5.6: Recortes de prensa sobre cortes de suministro en Chonchi y Quellón 3..	110
Figura 5.7: Bahía de Quintero. Fuente: (GNL Quintero, 2021).	112
Figura 5.8: Mapa de sensibilidad en la Bahía de Quintero. Fuente: (Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, 2004).	113
Figura 5.9: Barrio industrial de la costa norte de Valparaíso. Fuente: La Tercera.	114
Figura 5.10: Principales asentamientos urbanos zona Quintero Puchuncaví. Fuente: (Fernández, 2007).	115
Figura 5.11: Infraestructura de ductos de la Sociedad Nacional de Oledocutso (Sonacol). Fuente: (Sonacol, 2018).	116
Figura 5.12: Indicadores de impacto del cambio de las marejadas en la zona de Quintero. Fuente: ARCLIM – Infraestructura Costera.	118
Figura 5.13: Rompeolas flotante. Fuente: (MOP, 2013).	118
Figura 5.14: Puerto de Génova, rompeolas en paralelo. Fuente: PortalPortuario.	119
Figura 5.15: Rompeolas de arena en Lekki, Nigeria.	119
Figura 5.16: Secuencia de construcción del puerto de Lomé, Togo, a través de imágenes satelitales los años 2009 (a), 2012 (b) y 2016 (c). Fuente (Bart-Jan van der Spek, 2020).	120
Figura 5.17: Estrategia C, extensión de playa para rompeolas de arena ubicado en Caleta Ventanas.	121
Figura 5.18: Estrategias de adaptación en Bahía de Quintero: (A) rompeolas con dique vertical, (B) rompeolas flotante y (C) rompeolas de arena.	122
Figura 6.1: Pasos metodológicos para la consideración de resiliencia y adaptación al cambio climático en los proyectos energéticos.	131
Figura 6.2: Ejemplo matriz de riesgos. Fuente: VARP, DOE (2021b).	134
Figura 6.3: Resumen de impactos del CC en el sector energético. Fuente: EBP (2018)	135
Figura 6.4: Evaluación del impacto climático en el sector de la construcción en Alemania. Fuente: IMA (2017)	135
Figura 7.1: Días de stock de combustibles, seguimiento de la PEN 2020.	153



Figura 7.2: Cantidad de medidas de SbN aplicables para cada sector, siendo “2” las medidas con una relación indirecta con el sector, y “3” con una relación directa con el sector.	161
Figura 7.3: Estructura de la Política Nacional para la RRD.	176
Figura 7.4: Diapositivas propuestas para el desarrollo de entrevistas.	200
Figura 7.5: Tecnología PKW. Fuente: (“Climate Resilience Case Study: Piano Key Weirs,” n.d.).....	207
Figura 7.6: Detalle de las importaciones realizadas por país de origen en TCal. Fuente: Anuario Estadístico de Energía 2021, CNE.....	209

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Iniciativas en la política del Segundo tiempo de la transición energética.	34
Tabla 2.2: Plazos de implementación del Segundo tiempo de la transición energética. Fuente: Ministerio de Energía	38
Tabla 2.3: Resultados de entrevistas: análisis e impactos identificados del cambio climático.	41
Tabla 2.4: Resultados de entrevistas: presencia de exigencias o incentivos para implementar criterios de resiliencia.	41
Tabla 2.5: Resultados de entrevistas: dificultades en la implementación de criterios de resiliencia.	42
Tabla 2.6: Resultados de entrevistas: aristas y criterios a incorporar en próximas regulaciones o normativas, y carencias o falencias en regulaciones existentes.	43
Tabla 3.1: Revisión internacional sobre análisis de adaptación al cambio climático. Fuente: (EEA, 2019)	45
Tabla 3.2: Ranking de preparación elaborado por Universidad de Notre Dame.	46
Tabla 3.3: Selección de países altamente preparados en materia de adaptación al CC.	47
Tabla 3.4: Estrategias posibles de implementar en puertos en contexto de aumento del nivel del mar, por tipo de estrategia.....	53
Tabla 3.5: Indicadores de monitoreo para evaluación de estrategias de adaptación... ..	56
Tabla 3.6: Fenómeno climático e impacto en infraestructura energética.....	63
Tabla 3.7: Contribución relativa de las SBN en distintos ámbitos urbanos para el enfriamiento del aire. Fuente: Naturvation.	69
Tabla 4.1: Reglamentos sector eléctrico y necesidad de adecuación por resiliencia climática.	76
Tabla 4.2: Normas eléctricas y necesidad de adecuación por resiliencia climática.	77
Tabla 4.3: Tabla resumen del análisis de progreso en adaptación en sector energía (Climate Change Committe, 2023).....	85
Tabla 4.4: Cronograma de cumplimiento de los planes de adaptación.	97
Tabla 5.1: Indicadores de seguimiento y monitoreo, adaptado de Marco de Gestión Adaptativo (Port of San Diego, 2019).....	122
Tabla 6.1: Ejemplo de tabla para la identificación de impactos climáticos. Fuente: Adaptado de DOE (2021)	132

Tabla 6.2: Ejemplo de selección de estrategias de adaptación y resiliencia. Fuente: VARP, DOE (2021b).....	137
Tabla 7.1: Indicadores de seguimiento de la PEN 2019.....	152
Tabla 7.2: Resumen de cambios en temperatura y precipitación a 2050 de acuerdo con PACC del sector energía.	164
Tabla 7.3: Resumen de impactos en el recurso hídrico de acuerdo con PACC del sector energía.....	165
Tabla 7.4: Resumen de impactos en el recurso solar de acuerdo con PACC del sector energía.....	165
Tabla 7.5: Resumen de impactos en el recurso eólico de acuerdo con PACC del sector energía.....	165
Tabla 7.6: Resumen de impactos en el recurso biomasa de acuerdo con PACC del sector energía.....	166
Tabla 7.7: Resumen de impactos en generación hidroeléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.	167
Tabla 7.8: Resumen de impactos en generación solar de acuerdo con PACC del sector energía.....	167
Tabla 7.9: Resumen de impactos en generación eólica de acuerdo con PACC del sector energía.....	168
Tabla 7.10: Resumen de impactos en generación termoeléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.	168
Tabla 7.11: Resumen de impactos en infraestructura eléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.	169
Tabla 7.12: Resumen de impactos en Infraestructura asociada al combustible de acuerdo con PACC del sector energía.	169
Tabla 7.13: Resumen de impactos en demanda de calor y frío de acuerdo con PACC del sector energía.	170
Tabla 7.14: Resumen de impactos en otros factores de demanda de acuerdo con PACC del sector energía.	170
Tabla 7.15: Eje 1 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.....	176
Tabla 7.16: Eje 1 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.....	177
Tabla 7.17: Eje 2 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.....	177
Tabla 7.18: Eje 2 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.....	178
Tabla 7.19: Eje 3 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.....	178
Tabla 7.20: Eje 3 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.....	179



Tabla 7.21: Eje 4 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.	180
Tabla 7.22: Eje 4 - metas y plazos seleccionadas del PENRDD.	181
Tabla 7.23: Eje 5 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.	181
Tabla 7.24: Eje 5 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.	181
Tabla 7.25: Fenómenos climáticos extremos e infraestructura MOP. Plan MA Infraestructura.	197
Tabla 7.26: Líneas de acción y medidas objetivo1 adaptación del Plan MA Infraestructura.	198
Tabla 7.27: Líneas de acción y medidas objetivo1 adaptación del Plan MA Infraestructura.	199
Tabla 7.29: Reglamentos mandatados por la LMCC.	202

1 Introducción

1.1 Contexto y Motivación

Chile es un país expuesto y vulnerable a los efectos de la crisis climática. De hecho, debido a su diversidad geográfica, existe una importante variación entre los impactos climáticos negativos en las diferentes regiones del país, lo que se acentúa si se comparan regiones más extremas del norte y del sur. A nivel general, la ciencia proyecta días más cálidos y promedios más altos de temperatura, menos lluvias, sequías más frecuentes y mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos¹.

La adaptación al cambio climático es un proceso de ajustes al clima cambiante y sus efectos actuales o proyectados por la ciencia. Así, son las acciones, medidas o actividades que buscan reducir la vulnerabilidad de sistemas naturales y humanos, moderando los impactos negativos y/o aprovechando los efectos beneficiosos.

Por otra parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) define la resiliencia climática como la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligroso, respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación, mientras que el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) define resiliencia como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas. Ambas definiciones aportan a la comprensión de los presentes términos de referencia y a sus objetivos tanto generales como específicos.

En junio 2022, fue promulgada la Ley N° 21.455² o Ley Marco de Cambio Climático (LMCC). Esta ley, en su Artículo 1, enuncia el objetivo de mitigación (carbono neutralidad, a más tardar, al 2050) y de adaptarse al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático, y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado de Chile en la materia, tal como el Acuerdo de París.

El sector energía no es ajeno a los efectos del cambio climático y las consecuencias en la resiliencia, confiabilidad y correcto funcionamiento del sistema energético nacional. Entre las principales preocupaciones del sector se encuentran la baja disponibilidad de recursos hídricos o prolongadas sequías, los aumentos de temperatura y los eventos extremos. En 2017 fue publicado el Plan de Adaptación al Cambio Climático para el Sector Energía 2018-2023³ que

¹ IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

² Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

³ Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/PLAN-DE-ADAPTACION-ENERGIA.pdf>



contempla 15 medidas y 44 acciones con un cumplimiento de 70% a la fecha. Por otra parte, desde el 2022, el Ministerio de Energía se encuentra elaborando la Estrategia de Adaptación a la Crisis Climática del Sector Energía, que contendrá una hoja de ruta hacia la resiliencia climática al 2060. Además, en 2023 se iniciará el proceso de elaboración del Plan Sectorial de Adaptación (PSA) de Energía, mandatado por el Artículo 9 de la LMCC y que deberá ser publicado en junio de 2024.

Asimismo, este tema ha sido priorizado por el Gobierno del Presidente Gabriel Boric, a través de la Agenda de Energía 2022-2026, donde el Eje 3: Desarrollo Energético Seguro y Resiliente apunta al impulso de un sistema energético robusto que sea seguro y capaz de recuperarse ágilmente frente a eventos inesperados, tanto naturales como exacerbados por la crisis climática, para así habilitar la transición energética. En particular, la meta 3.2.2 establece que se diseñarán e implementarán, al menos, 2 proyectos piloto de adaptación al cambio climático en el sector energía, mientras que la meta 3.4.1 define que el Ministerio de Energía implementará los cambios necesarios para que la regulación, la planificación y la normativa energética incorporen explícitamente la resiliencia y adaptación al cambio climático para el periodo señalado por la Agenda.

Por otra parte, la Ley 21.364⁴ que establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED), sustituye la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), en su Artículo 34 establece que los órganos de la Administración del Estado individualizados en la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (el Ministerio de Energía, entre otros), deberán elaborar un Plan Sectorial para la Gestión del Riesgo de Desastres que permita el cumplimiento de los objetivos establecidos para cada sector en el Plan Estratégico Nacional, así como definir el desarrollo de sus capacidades para la respuesta de las emergencias y su empleo en conformidad a los Planes de Emergencia, en todos sus niveles.

Así, Chile y, en particular, el sector energía junto a su autoridad sectorial, el Ministerio de Energía, se encuentran frente al desafío de transitar hacia la carbono neutralidad desde una perspectiva justa, segura y resiliente, asegurando un suministro energético confiable y preparando la infraestructura crítica tanto para esta meta como para hacer frente a los efectos e impactos negativos de la crisis climática o aquellos desastres naturales donde ya se cuenta con un proceso de respuesta, pero que se verán amplificados por efectos del cambio climático.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general de este estudio es disponer de un análisis del estado actual de preparación de la infraestructura energética estratégica para moderar los daños potenciales o para beneficiarse de las oportunidades asociadas al cambio climático.

⁴ Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos planteados para el trabajo son los siguientes:

- A. Evaluar el estado de la resiliencia climática en la infraestructura energética, considerando tanto electricidad (generación, transmisión y distribución) como combustibles (producción, transporte y almacenamiento).
- B. Analizar la regulación asociada al sector energía que debiese adaptarse en vista de los resultados del punto anterior, promoviendo una mayor resiliencia y adaptación a la crisis climática.
- C. Recomendar alternativas de pilotos de proyectos de adaptación en, al menos, el subsector de transporte energético (transmisión eléctrica y puertos).
- D. Elaborar una guía para analizar, considerar e implementar la adaptación al cambio climático en los proyectos de energía, considerando una perspectiva del sector público como privado.

1.3 Actividades

1.3.1 OE A: Evaluación del estado de la resiliencia de la infraestructura

Para el desarrollo de este objetivo se plantean las siguientes actividades:

- A.1 Revisar los avances nacionales en temas de adaptación, resiliencia y gestión del riesgo, con foco en el sector energía, pero considerando su amplia interacción con otros sectores. Se recomienda utilizar información contenida en la Política Energética Nacional 2050 (PEN), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, el Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía 2018-2023 y otros planes sectoriales con los que se cuente a la fecha, Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres: Plan Estratégico Nacional 2020-2030, la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), y otros estudios que la contraparte técnica proporcione.
- A.2 Revisar experiencias internacionales exitosas de infraestructura energética resiliente implementadas o en desarrollo. Al menos se deben analizar en detalle seis (6) de ellas, especificando el contexto del caso de estudio, características técnicas del proyecto, resumen del proceso de implementación o desarrollo a la fecha, nivel de éxito alcanzado en caso de que esté implementado, inversión y fuentes de financiamiento, relación con el sector energético, barreras regulatorias o de otro tipo para su implementación en Chile, contexto (geográfico, social, económico, etc.), aporte concreto a la adaptación a la crisis climática, resguardos para no tener efectos indeseables o mala adaptación, entre otras que se definan con la contraparte técnica. Se espera que, al menos, dos (2) de las experiencias detalladas sea una solución basada en la naturaleza.

1.3.2 OE B: Análisis regulatorio y propuestas

Para el desarrollo de este objetivo se plantean las siguientes actividades:

- B.1 Revisar la legislación y normativas del sector energético a nivel nacional relacionadas o que aborden temáticas de resiliencia y adaptación, tanto a desastres naturales como a impactos del cambio climático.
- B.2 Revisar experiencias internacionales exitosas de legislación, regulación o normativa que aborde la resiliencia y/o adaptación al cambio climático en el sector energía a nivel general. Al menos se deben analizar en detalle tres (3) de ellas, especificando la entidad a cargo y relacionadas, motivación y objetivos, implementación y contexto, relación o posible nexo con el escenario nacional, así como las barreras para su homologación en Chile.
- B.3 Proponer cambios o incorporaciones concretas desde el punto de vista regulatorio, normativo y/o legislativo chileno para integrar exitosamente el aspecto de vulnerabilidad al cambio climático, identificando claramente las barreras existentes y alternativas para abordarlas. Se espera que las propuestas sean específicas, es decir, a leyes, reglamentos, normas u otros concretas, así como el detalle del artículo o inciso en cuestión y la propuesta de modificación.

1.3.3 OE C: Propuesta de pilotos de adaptación

Para el desarrollo de este objetivo se plantean las siguientes actividades:

- C.1 Realizar una propuesta de, al menos, dos (2) pilotos de proyectos de adaptación en la infraestructura de transporte energético (transmisión eléctrica y puertos). Esta propuesta debe incluir, al menos, lo siguiente: nombre del piloto, objetivo, fuentes de financiamiento, stakeholders, posible localización, antecedentes de la ubicación propuesta considerando vulnerabilidad climática, componentes del proyecto, beneficios del proyecto (ambientales, sociales, económicos y climáticos), aporte a la adaptación, enfoque de género, derechos humanos, territorial y de pueblos originarios. La contraparte técnica podrá cambiar alguno de los proyectos propuestos en caso de requerirse. Cabe destacar que el subsector de transporte energético es de especial interés dada su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático, por ejemplo, a través del aumento de las temperatura o frecuencia de olas de calor (disminuyendo la eficiencia de las líneas de transmisión/distribución o poniéndolas en riesgo de fallas) así como del aumento del nivel del mar o eventos extremos como marejadas (que, a su vez, aumentan los tiempos de carga y descarga en puertos o dañan esta infraestructura fundamental para el transporte de combustibles, fósiles en el corto plazo y sustentables en el mediano y largo plazo) .
- C.2 Proponer una meta sectorial a nivel de infraestructura resiliente y capacidad adaptativa al cambio climático para el sector energía, que cuente con plazos, actividades y sus correspondientes indicadores de seguimiento, instituciones o sectores responsables, colaboradores e involucrados y presupuesto aproximado.

1.3.4 OE D: Propuesta de guía de adaptación para proyectos energéticos

Para el desarrollo de este objetivo se plantean las siguientes actividades:

- D.1 Revisar documentos técnicos del Ministerio de Energía u otros servicios públicos (Ministerio de Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental, Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Comisión Nacional de Energía, entre otros) que aborden la incorporación de criterios, exigencias técnicas y/o procedimientos relacionados, directa o indirectamente, con la adaptación y resiliencia, tanto climática como a eventos extremos. También se podrán considerar criterios, exigencias y/o procedimientos que no necesariamente están relacionados, pero que podrían ser homologable a estas temáticas.
- D.2 Proponer una metodología de paso a paso para incorporar consideraciones de resiliencia y adaptación al cambio climático en los proyectos energéticos. Se recomienda considerar la "Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA" del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

1.4 Contexto actual de crisis climática

El cambio climático tiene impactos en la operación de sistemas eléctricos y sus medidas de mitigación condicionan su desarrollo. Así, la actual crisis climática, pasa a ser un elemento central de los análisis futuros de los sistemas eléctricos de potencia, en particular en aquellos ámbitos con mayor vulnerabilidad, de manera de aumentar su resiliencia climática, de conformidad con los objetivos y metas definidas en la regulación. Las siguientes figuras (1.1 a 1.3) muestran las tendencias climáticas de acuerdo con el IPCC para el período 2021-2040 comparado con el período 1995-2014. Asimismo, se aprecian los cambios territoriales y estacionales en temperatura, precipitaciones y velocidad del viento (Comité Científico Cambio Climático, 2021)

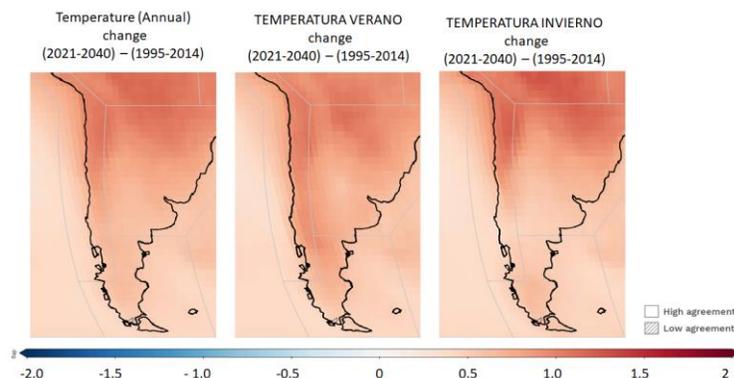


Figura 1.1: Tendencias climáticas. Temperatura.

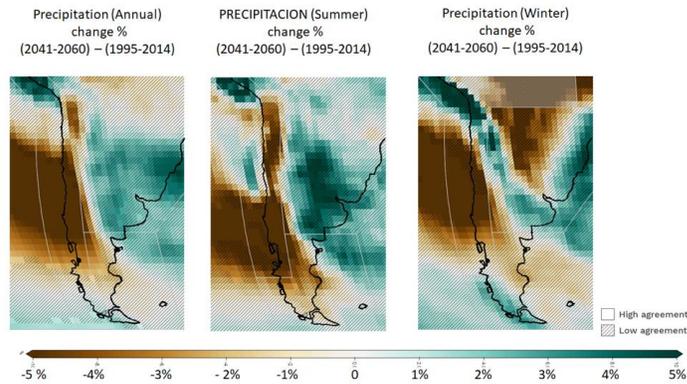


Figura 1.2: Tendencias climáticas. Precipitaciones.

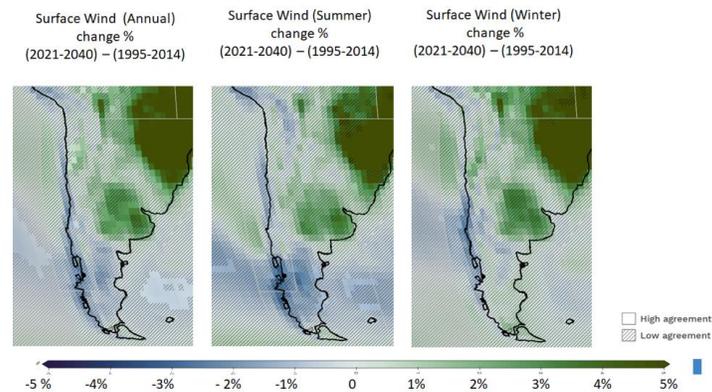


Figura 1.3: Tendencias climáticas. Viento.

Junto a las tendencias climáticas y probablemente mucho más crítico desde el punto de vista de la expansión de la transmisión, se perfilan los eventos climáticos extremos tales como olas de calor, olas de frío, lluvias extremas, aluviones, incendios, marejadas y nieve /granizo extremo. Estos eventos se están haciendo cada vez más frecuentes, como lo muestra el estudio "Reporte Climate Change 2021"⁵, cuyos principales resultados se muestran en la Figura 1.4.

⁵ Fuente: Reporte Climate Change 2021 (AR6) del IPCC.

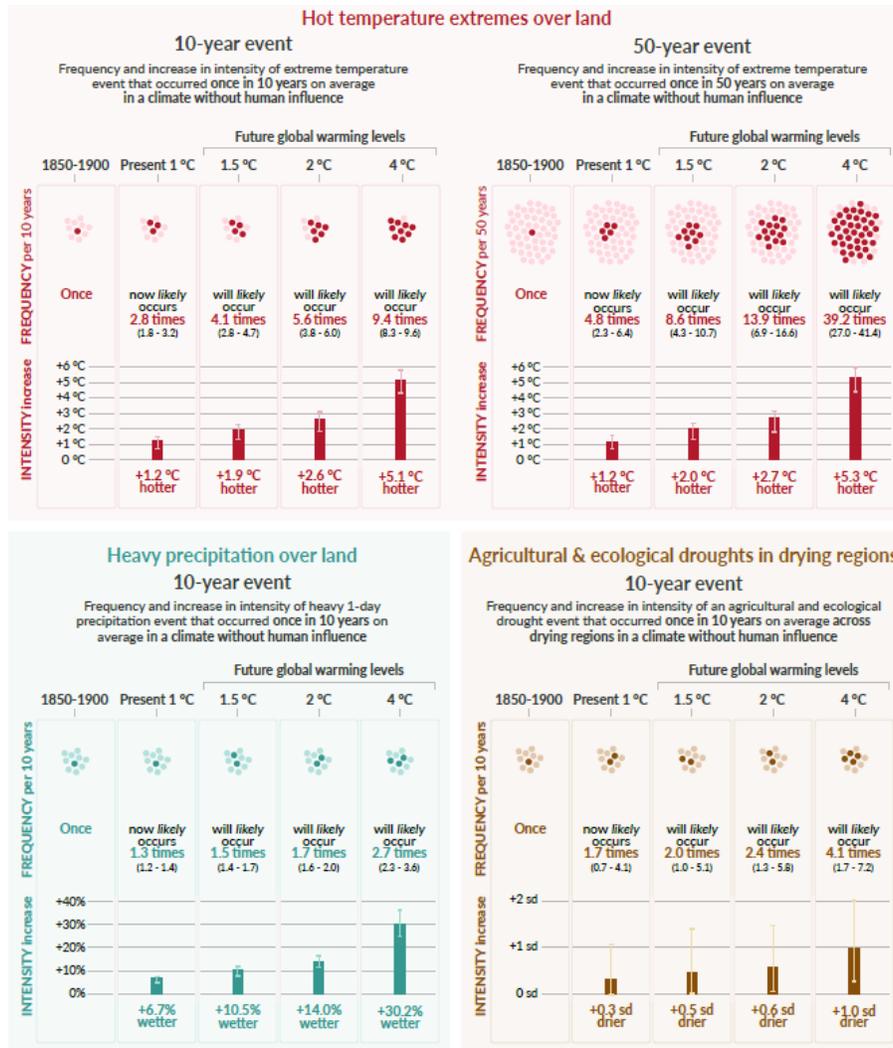
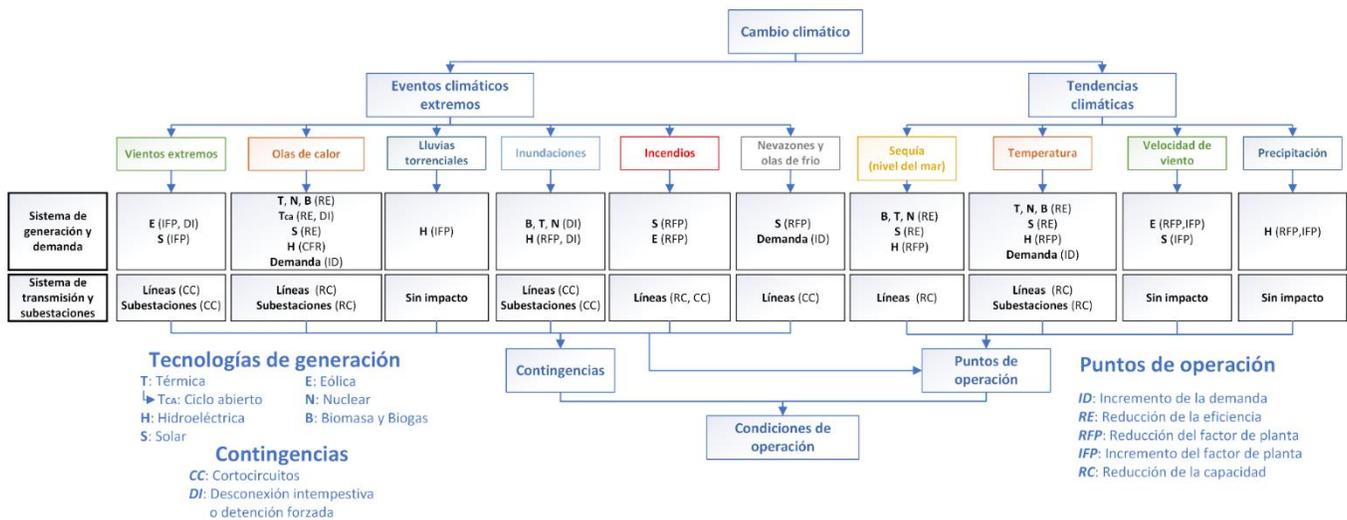


Figura 1.4: Tendencias climáticas y eventos extremos.

En la figura se observan las tendencias de eventos extremos relacionados con episodios de temperatura extrema, precipitaciones de alta intensidad y sequías en con impacto en agricultura y ecosistemas. La frecuencia e intensidad de estos eventos se proyectan en función del nivel de calentamiento global tomando como referencia el nivel de temperaturas promedio en la era preindustrial de 1850 a 1900. La severidad y frecuencia de los eventos crece considerablemente con el nivel de calentamiento global supuesto y constituye asimismo una dimensión de incertidumbre respecto de cuál será el nivel que se alcanzará en función de la magnitud y efectividad de las acciones de mitigación que desarrolle la humanidad para frenar el proceso.

La combinación de tendencias climáticas con eventos extremos genera impactos directos en la infraestructura de los sistemas eléctricos, pudiendo comprometer tanto aspectos de seguridad como de suficiencia. El diagrama mostrado en la Figura 1.5, desarrollado en una investigación reciente del Centro de Energía, resume este tipo de impactos. Es necesario entender de qué forma esta nueva realidad se incorpora en el desarrollo y adaptación del sector eléctrico chileno.

La Figura 1.5, muestra el impacto del cambio climático en los distintos componentes de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) de acuerdo con una recopilación realizada a inicios de 2023. En particular, el cambio climático puede dividirse en cambios tendenciales de variables climáticas (TC) y eventos climáticos extremos (ECE). Los cambios en las TC pueden producir cambios en los puntos de operación de los componentes, es decir, una disminución en las capacidades de los componentes, aumento de la demanda, y cambios en el recurso natural que se usa en ciertas tecnologías de generación (factor de planta). Por su parte, los ECE no solo pueden causar los impactos ya mencionados, sino que también pueden propiciar potenciales fallas en los mismos componentes. Los colores en la figura asocian los ECE con sus respectivas variables climáticas asociados, es decir, olas de calor e incendios con temperatura, vientos extremos con velocidad de viento, precipitaciones e inundaciones con precipitaciones.



(Fuente: Pedro Gutiérrez, Planificación de la expansión considerando los efectos de eventos climáticos extremos en la operación de los SEP, Avance Tesis Doc, Universidad de Chile).

Figura 1.5: Impacto del clima en infraestructura de los Sistemas Eléctricos de Potencia.

De igual forma, en el sector de combustibles se han identificado diversas vulnerabilidades, en particular aquellas relacionadas con la logística y almacenamiento. En este sentido, una vulnerabilidad relevante es el incremento de la indisponibilidad de los terminales portuarios por eventos climáticos que aumentan en frecuencia e intensidad, lo que impide la descarga normal de los envíos de combustibles por periodos prolongados.

Por otro lado, se constata que, la existencia de regulación respecto de una temática no asegura que las medidas se implementen y lo hagan a tiempo si no se encuentran los detalles técnicos reglamentarios o normativos para su aplicación. Un ejemplo de ello es la Ley 20.936 que "Establece un Nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un Organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional" del año 2016. En ese cuerpo legal se estipula la

incorporación de la resiliencia como un factor a considerar en la expansión del sistema de transmisión eléctrica. No obstante, al carecer de criterios reglamentarios y normativos precisos su aplicación práctica ha sido compleja y sin resultados visibles. Esto se evidencia en que, hasta la fecha, ningún proyecto de inversión en nueva infraestructura ya sea evaluado por el coordinador o la comisión ha sido aprobado bajo este concepto.

De esta manera, una cuestión relevante a indagar en este estudio es el avance y/o existencia de reglamentación y normativa precisa para la aplicación de las directrices legales y planes destinados a promover la resiliencia y adaptación del sector energía a la crisis climática en curso.

1.5 Sobre concepto de resiliencia

1.5.1 Conceptos de acuerdo con el IPCC

En el quinto reporte de evaluación del IPCC, se entregan las siguientes definiciones para las temáticas en análisis:

Cambio climático: Variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Peligro: Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia física de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este.

Impactos: Efectos en los sistemas naturales y humanos. En el presente informe, el término impactos se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y la elevación del nivel del mar, son un subconjunto de los impactos denominados impactos físicos.

Riesgo: Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosas multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro (véase la figura RRP.1). En el presente informe, el término riesgo se utiliza principalmente en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático.

Adaptación: 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 algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

Transformación: Cambio en los atributos fundamentales de los sistemas naturales y humanos. En este resumen, la transformación podría reflejar paradigmas, objetivos o valores reforzados, alterados o armonizados dirigidos a promover la adaptación en pro del desarrollo sostenible, en particular la reducción de la pobreza.

Resiliencia: Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

En la siguiente figura se conceptualiza el concepto de vulnerabilidad climática según el IPCC en el ya citado reporte.



Figura 1.6: Conceptualización de vulnerabilidad climática según el IPCC (AR5 2014).

Los riesgos se pueden resumir con los siguientes conceptos:

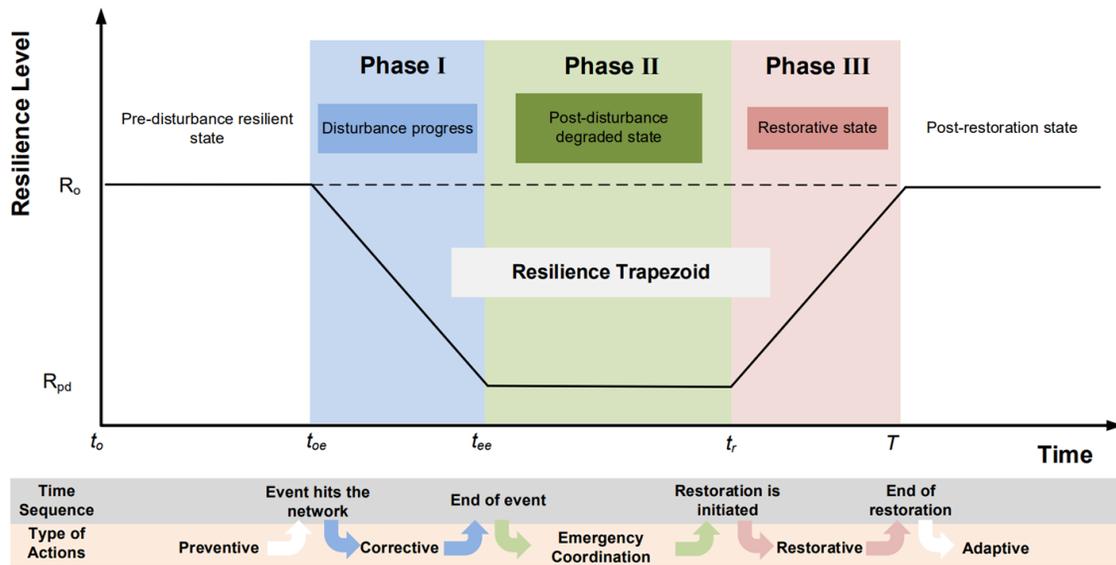
- **Peligros o Amenaza:** Condición climática cuya potencial ocurrencia puede resultar en pérdida de vidas, accidentes y otros impactos en salud, como también en pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos medio ambientales.
- **Exposición:** La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales, en lugares y momentos que podrían verse afectados negativamente.
- **Vulnerabilidad:** La propensión o predisposición a verse afectado negativamente. A su vez, ésta se compone por la sensibilidad, determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático (lo que incluye atributos físicos, sociales, económicos y culturales del sector o sub-sector), y la capacidad adaptativa, entendida como la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sectores para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles. De esta forma, la sensibilidad, la capacidad adaptativa y la exposición son los elementos que pueden modificarse a través de las medidas de adaptación, buscando reducir el riesgo climático.

1.5.2 Conceptos de acuerdo con el IEEE

El año 2018 *Institute of Electrical and Electronics Engineers* presenta el grupo de trabajo para la definición y cuantificación de resiliencia de la sociedad de sistemas eléctricos de potencia (SEP, PES). Como resultado, se entrega el reporte técnico 65 en el que se define la resiliencia como:

Resiliencia: *“Capacidad de resistir y reducir la magnitud y/o duración de incidentes perjudiciales, que incluye la capacidad de anticipar, absorber, adaptarse y/o recuperarse rápidamente de tal evento”*. (IEEE, 2018) PES TR65.

En este mismo documento, se presenta la siguiente figura en la que se esquematiza el concepto de resiliencia como un proceso dinámico que parte desde antes de que el evento golpee al sistema, con medidas preventivas, hasta que éste recupera su estado operativo, y luego se readapta en la medida que se evalúe como necesario.



(Ref. IEEE Task Force on Definition and Quantification of Resilience 2018, M. Panteli)

Figura 1.7: Concepto de Resiliencia como proceso dinámico, IEEE 2018.

Cabe destacar que, en la práctica, el nivel de resiliencia del sistema al final del evento no necesariamente coincidirá con el existente al inicio.

Por otro lado, en el IEEE PES se han creado cuatro grupos de trabajo adicionales en relación con Métricas y Métodos de Evaluación de Resiliencia de SEP. Estos son:

- *Métodos para el análisis y cuantificación de la Resiliencia de SEP, (Methods for Analysis and Quantification of Power System Resilience).*
- *Marco de Trabajo Sobre Resiliencia, Métodos y Métricas para el Sector Eléctrico; (Resilience Framework, Methods, and Metrics for the Electricity Sector).*
- *Métodos para Mitigación de Desastres Naturales y Tecnologías para la Operación (Natural Disaster Mitigation Methods and Operation Technology).*
- *Herramientas para la Resiliencia (Tools for Resiliency).*

A la fecha estos grupos no han hecho publicaciones, pero siguen desarrollando un trabajo interno.

1.5.3 Concepto según documentos de política nacional

El DS 434/2020 del Ministerio del Interior en materia de Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030 define lo siguiente:

Resiliencia

Da cuenta de un proceso dinámico asociado a la capacidad de un sistema y de sus componentes, tales como población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, entre otros, para anticipar, resistir, absorber, adaptar y recuperarse de los efectos de un evento, de manera integral, oportuna y eficaz, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas. Permite dimensionar la habilidad de un sistema con la cual una comunidad se recupera inmediatamente posterior a la ocurrencia de un evento, y cómo supera el estado existente previo al desastre. Cuentan para la evaluación de la resiliencia aspectos como la redundancia, rapidez, robustez y habilidad.

(Decreto 434 del 2020 del Ministerio de Interior, Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030).

Por su parte la actualización de la Política Energética Nacional 2050 de 2021/2022 adopta la definición anterior e incluye la siguiente:

Resiliencia climática: Habilidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, de forma oportuna y eficiente, incluso velando por la conservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales.

1.5.4 Concepto según Ley Marco de Cambio Climático

La ley 21455, Ley Marco de Cambio Climático (LMCC) fue promulgada en mayo de 2022 y en ella se definen los conceptos de adaptación y resiliencia en su artículo 3º, como sigue:

Adaptación al cambio climático: acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Resiliencia climática: capacidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función esencial, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

1.5.5 Análisis sobre el concepto e implicancias

La idea central del concepto de resiliencia, como la capacidad de prepararse y afrontar eventos adversos de forma de minimizar perjuicios y aprender de estos, se encuentra en todas las definiciones revisadas. En el caso de las asociadas a cambio climático estas definiciones se enfocan en efectos adversos de clima, mientras que las más generales se refieren sólo a eventos y en el caso de IEEE se enfoca sistemas eléctricos de potencia.



Considerando la revisión, para los efectos de este estudio se adopta la definición de la LMCC. Definición con la mayor jerarquía legal de las analizadas. En lo relativo a sistemas energéticos y eléctricos en particular se tendrá en cuenta la lógica de análisis de riesgo y de proceso del diagrama de la Figura 1.6 y Figura 1.7.

Los sistemas energéticos son sistemas complejos, interrelacionados, que integran múltiples componentes individuales para proveer un servicio básico fundamental. Un sistema encadenado es tan resistente como su eslabón más débil y para mejorarlo existen dos opciones: reforzar los componentes o agregar más de ellos en paralelo. Por otro lado, el servicio es un proceso dinámico, continuo. De esta manera, los conceptos de riesgo y resiliencia pueden ser aplicados tanto a los componentes individuales como al sistema. Asimismo, la dimensión dinámica permite aplicar los conceptos de tiempos de respuesta y recuperación como una forma alternativa de afrontar eventos adversos con el menor perjuicio posible.

La resiliencia del sector energético puede analizarse desde dos puntos de vista:

- **Resiliencia de la infraestructura:** en este caso el análisis de riesgo se enfoca en el componente y el proceso en la su disponibilidad en el tiempo. Se busca minimizar los daños a la infraestructura, asegurar que esté disponible en estado operativo la mayor parte del tiempo, o vuelva al estado operativo lo más pronto posible en las situaciones en que es necesaria. Esto, fomentando el aprendizaje y mejora constante aprovechando las lecciones que cada evento adverso pueda aportar.
- **Resiliencia del servicio de suministro:** en este caso el análisis de riesgo es más complejo, involucra la disponibilidad de los componentes y el foco central es el proceso de suministro. Por ello, involucra el análisis por componente, pero se extiende más allá de su resiliencia individual, al existir formas de mejorar la resiliencia del suministro a través de redundancia de componentes, gestión de uso, niveles de stock, manejo de emergencia y tiempos de respuesta.

El análisis de confiabilidad de SEP, a lo largo del desarrollo de la industria, ha dejado un marco metodológico que puede ser aplicado en este contexto. En este marco la confiabilidad se descompone en suficiencia y seguridad. Mientras el primero se enfoca en que la disponibilidad de la infraestructura sea suficiente para dar suministro en contexto con incertidumbre, la seguridad se enfoca en eventos adversos que el sistema debe estar preparado a afrontar minimizando la pérdida de suministro. Dados los impactos generales de la adaptación al CC en los SEP, los análisis de suficiencia pueden ser aplicados en este ámbito. Por su parte, los análisis de seguridad pueden ser asociados a los de resiliencia climática.

2 Diagnóstico, revisión de antecedentes nacionales

2.1 Planes políticas y estrategias

Se analiza el estado de la resiliencia climática en la infraestructura energética, abarcando tanto el sector eléctrico (generación, transmisión y distribución) como el sector de combustibles (producción, transporte y almacenamiento). Para esto, se revisan los avances nacionales en temas de adaptación, resiliencia y gestión del riesgo, con foco en el sector energía, pero considerando su amplia interacción con otros sectores. Entre otros se incluyen:

- Política Energética Nacional 2050 (PEN), actualización 2022.
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía 2018-2023.
- Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- Plan Estratégico Nacional 2020-2030.
- Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP).

Se considera también el proyecto de reglamento que establece el procedimiento para la elaboración de los Planes Sectoriales de Mitigación (PSM) y los Planes Sectoriales de Adaptación (PSA), que se encuentra actualmente en consulta pública⁶.

Adicionalmente se incluyen en la revisión otros planes sectoriales disponibles a la fecha de este informe de avance. Entre ellos se encuentran:

- Plan de adaptación nacional al cambio climático sector silvoagropecuario⁷ que es uno de los últimos que se ha desarrollado en el país (2021) y considera las más recientes recomendaciones de la comunidad internacional.
- Plan de Mitigación y Adaptación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático⁸ que considera elementos de resiliencia a los riesgos del cambio climático en infraestructuras relacionadas al sector energético (puertos, otros).

En los siguientes cuadros se resumen los documentos revisados, enfocándose en las materias de resiliencia de la infraestructura energética nacional. Todos los documentos analizados corresponden a aquellos proporcionados directamente por la contraparte o fueron validados por ésta en reuniones de trabajo. Una síntesis de cada documento se presenta en el Anexo C.

⁶ <https://consultaciudadanas.mma.gob.cl/porta/consulta/137>

⁷ https://www.odepa.gob.cl/temas-transversales/plan-de-adaptacion-nacional-al-cambio-climatico-sector-silvoagropecuario#acordeon_bibliografia_de_interes_PANCC_SAP

⁸ <https://www.mop.gob.cl/Carpeta/uploads/2021/07/Plan-de-Adaptacion-y-Mitigacion-de-los-Servicios-de-Infraestructura-al-Cambio-Climatico-2017-2022.pdf>

Nombre documento	Política energética nacional 2050 (PEN) de 2015 y actualización 2021/22
Organismo que publica	Ministerio de Energía
Breve descripción	Visión de futuro y objetivos para orientar la política pública energética
Tipo	Política sectorial
Organismo(s) encargado(s) de implementación	2015 (MEN, CNE, SEC, CEN), 2022 MEN
Existencia de metas claras, precisas y medibles	Sí
Organismo(s) encargado(s) de seguimiento	MEN
Existencia de indicadores	Sí
Informes de seguimiento y evaluación	Sí, seguimiento de indicadores
Último informe de seguimiento	2020
Comentarios	<p>Versión 2022 de la PEN integra el concepto de resiliencia al más alto nivel, similar al de confiabilidad y calidad de suministro, separándolo de ambos.</p> <p>Se identifican diversas metas, pero sin resolver cuestiones como el conflicto de objetivos entre eficiencia económica y resiliencia. Métricas de resiliencia y sus impactos se definirían en el futuro.</p> <p>Énfasis en electrificación de sectores y descarbonización de la matriz puede hacer perder diversidad a la matriz energética y/o cadenas de suministro, eventualmente comprometiendo la resiliencia.</p> <p>Reportes de seguimiento se enfocan más en presentar indicadores que en la evaluación de acciones, avance y cumplimiento de metas.</p>

Nombre documento	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2015 y actualización 2023 (en curso)
Organismo que publica	Ministerio del Medio Ambiente
Breve descripción	Instrumento articulador de la política pública chilena de adaptación al cambio climático
Tipo	Plan Nacional

Nombre documento	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2015 y actualización 2023 (en curso)	
Organismo(s) encargado(s) de implementación	de	Ministerio del Medio Ambiente e instituciones responsables de cada sector.
Existencia de metas claras, precisas y medibles		Sí
Organismo(s) encargado(s) de seguimiento	de	Ministerio del Medio Ambiente
Existencia de indicadores	de	No en la versión 2015, pero deberá incluir su actualización según el mandato de la LMCC.
Informes de seguimiento y evaluación	de	Sí y
Último informe de seguimiento	de	2020, actualización en desarrollo
Comentarios		<p>Del proceso de actualización se tienen los informes preliminares de los capítulos de enfoque en el riesgo de desastres y soluciones basadas en la naturaleza.</p> <p>Se identifica la necesidad de incorporar la gestión del riesgo y resiliencia en la planificación urbana y territorial, luego de la revisión del marco normativo, internacional y competencias de actores principales.</p> <p>Se tiene una escasa cantidad de soluciones basadas en la naturaleza aplicables de forma directa en sectores como energía, zonas costeras y transporte, comparado con turismo, recurso hídrico y biodiversidad. No obstante, sector energía presenta gran cantidad de SbN aplicables de forma indirecta.</p> <p>Se menciona en contexto de infraestructura energética, la necesidad de contar con mapas de vulnerabilidad, análisis de impacto del cambio climático en infraestructura y de necesidad de nuevos requerimientos.</p>

Nombre documento	Plan de adaptación al cambio climático, sector energía 2018 - 2023	
Organismo que publica	que	Ministerio de Energía
Breve descripción		Resumen de impactos climáticos proyectados en el sector energético y dar a conocer medidas para fomentar la adaptación al cambio climático del sector.
Tipo		Política sectorial

Nombre documento	Plan de adaptación al cambio climático, sector energía 2018 - 2023	
Organismo(s) encargado(s) de implementación	Ministerio de Energía junto a otras instituciones según la medida.	
Existencia de metas claras, precisas y medibles	Sí	
Organismo(s) encargado(s) de seguimiento	MEN	
Existencia de indicadores	Sí	
Informes de seguimiento y evaluación	Sí	
Último informe de seguimiento	En desarrollo, actualización del plan para periodo 2023 - 2028.	
Comentarios	<p>Este plan recopila los principales efectos que tendría el cambio climático en todas las variables que afectan el sector energético en Chile como, los recursos naturales, la demanda, los combustibles, etc.</p> <p>A partir de este diagnóstico se elaboran 15 medidas asociadas a cinco lineamientos de acción. Entre estas medidas se incluyen análisis detallados de impactos del cambio climático, estudios de riesgo de infraestructura, mejora de resiliencia del sector, análisis de la demanda, gestión de energía en la industria, mejora de capacidades institucionales, entre otras.</p> <p>Cada medida cuenta con el detalle de los responsables, indicadores de seguimiento y acciones concretas para lograr los objetivos propuestos.</p>	

Nombre documento	Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020 - 2030, año 2020	
Organismo que publica	ONEMI (actual SENAPRED)	
Breve descripción	Directrices en materias de gestión para la reducción del riesgo de desastres	
Tipo	Política Nacional	
Organismo(s) encargado(s) de implementación	SENAPRED, Ministerios, Subsecretarías.	

Nombre documento	Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020 - 2030, año 2020
Existencia de metas claras, precisas y medibles	Sí
Organismo(s) encargado(s) de seguimiento	SENAPRED
Existencia de indicadores	Sí
Informes de seguimiento y evaluación	Sí, seguimiento de indicadores
Último informe de seguimiento	2021
Comentarios	<p>Política Nacional que establece metas con plazos definidos, instituciones a cargo y asociadas, por cada eje y objetivos estratégicos, que deriva en un Plan Estratégico Nacional mediante acciones estratégicas y metas. Las metas tienen plazos definidos, instituciones a cargo e instituciones asociadas.</p> <p>Enfoque en la identificación de riesgos y preparación frente a desastres, incluyendo el fomento a la resiliencia en uno de sus ejes estratégicos, mediante la inclusión de criterios de resiliencia en planificación, estudios, diagnósticos e inversión en infraestructura resiliente.</p> <p>Pendiente seguimiento y monitoreo, con especial interés en el avance de las metas relacionadas a criterios de resiliencia en infraestructura energética.</p>

Nombre documento	Estrategia climática de largo plazo (ECLP)
Organismo que publica	Gobierno de Chile.
Breve descripción	Informe que define la hoja de ruta a seguir para lograr la carbono neutralidad y la resiliencia climática.
Tipo	Estrategia nacional
Organismo(s) encargado(s) de implementación	Gobierno con todos sus ministerios.
Existencia de metas claras, precisas y medibles	Sí

Nombre documento		Estrategia climática de largo plazo (ECLP)
Organismo(s) encargado(s) de seguimiento	de	MMA
Existencia de indicadores	de	Sí
Informes de seguimiento y evaluación	de y	Sí
Último informe de seguimiento	de	N/A
Comentarios		<p>La ECLP presenta un análisis y propuesta bastante completa y detallada sobre medidas y metas que abordan el desafío de cambio climático y las metas establecidas a nivel nacional con respecto a carbono neutralidad.</p> <p>En el contexto de la ley marco de cambio climático, en ese entonces en tramitación, la ECLP constituye un pilar fundamental para definir lineamientos a nivel nacional para abordar el cambio climático.</p>

2.2 Segundo tiempo de la transición energética

2.2.1 Descripción general

El segundo tiempo de la transición energética busca que las fuentes renovables y limpias pasen de ser un complemento importante en el sistema eléctrico a constituir las fuentes principales de generación, propendiendo a una matriz eléctrica con un 100% de energías limpias antes del 2050, de manera coherente a las acciones de descarbonización acelerada con enfoque en las personas que ha comprometido el Gobierno de Chile.

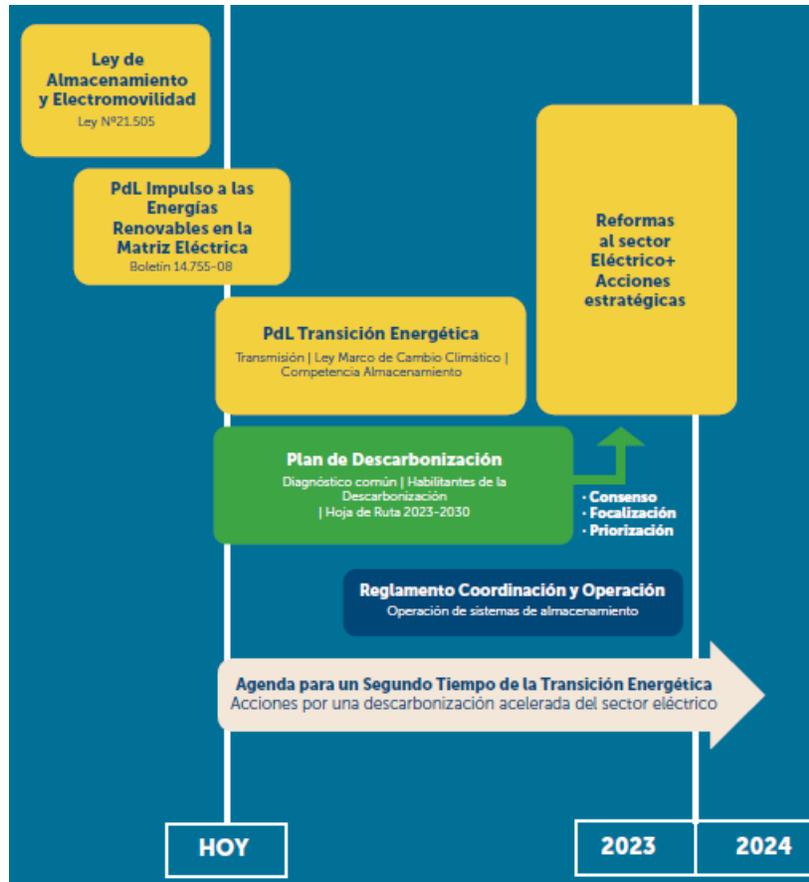


Figura 2.1: Esquema de acciones políticas, legislativas, reglamentarias y planes para la transición energética acelerada.

Tabla 2.1: Iniciativas en la política del Segundo tiempo de la transición energética.

Instrumento Iniciativa	/	Fecha	Descripción	Aspecto de resiliencia energética
Iniciativas legislativas				
Ley N°21.505, Almacenamiento y Electromovilidad	de y	Noviembre de 2022	Fomenta sistemas de almacenamiento a través de habilitación de agentes que operen almacenamiento stand-alone en el mercado de corto plazo, electromovilidad y sistemas generación-consumo en el sistema	Medidas que otorgan mayor seguridad al sistema

Instrumento / Iniciativa	Fecha	Descripción	Aspecto de resiliencia energética
Proyecto de Ley que Impulsa las Energías Renovables en la Matriz Eléctrica	Segundo trámite en el Congreso Nacional	Promover mayor colocación de fuentes renovables en la red, incluyendo aquellas horas en que actualmente hay menor participación	Incorpora exigencias que incentiven la gestión de la energía y la incorporación de mayor capacidad de almacenamiento en el sistema
Proyecto de Ley de Transición Energética, transmisión como sector habilitante:	Ingresó al Congreso en julio de 2023	i. Desarrollo eficiente de obras de transmisión. ii. Sector eléctrico y cambio climático: Infraestructura habilitante para cumplimiento de la Ley iii. Competencia y fomento al almacenamiento	Coherente con meta de carbono neutralidad y facilitación de infraestructura habilitante para su cumplimiento
Reformas al Sector Eléctrico: Proceso de diálogo estratégico de política pública en el marco del “Plan de Descarbonización”	1er y 2do semestre de 2023	Establecer prioridades respecto de reformas necesarias al sector eléctrico, a través de uno o más proyectos de ley que promuevan acciones de carácter estructural hacia la modernización del sector eléctrico	Se analizan temáticas como mercados de energía y servicios complementarios, distribución, recursos distribuidos y calidad de servicio como también medidas de protección focalizada en clientes vulnerables.
Iniciativa de política pública y consenso			
Plan de Descarbonización: construcción de hoja de ruta 2023- 2030	Inició en agosto 2023	Trabajo técnico y de diálogo estratégico para establecer condiciones regulatorias y técnicas que habiliten un proceso de descarbonización que acelere la transición energética y reducción progresiva de emisiones globales y locales del sector eléctrico, definiendo una hoja de ruta al 2030	Distintas acciones asociadas a la descarbonización, donde el tema de resiliencia debiera ser uno de los condicionantes requeridos para este proceso.

Instrumento Iniciativa /	Fecha	Descripción	Aspecto de resiliencia energética
Iniciativas reglamentarias			
Modificación del Reglamento de Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional:	Durante el año 2023	Adecuación para definir acciones asociadas a los sistemas de almacenamiento y su forma de operar en el sistema eléctrico	Entregará más certezas respecto a la operación para fomentar con más fuerza las inversiones asociadas a este tipo de proyectos entregando mayor seguridad al sistema

2.2.2 Agenda Inicial para un Segundo Tiempo de la Transición Energética

2.2.2.1 Acciones para una descarbonización acelerada del sector eléctrico

Se identifican múltiples medidas de corto y mediano plazo que deben acompañar este proceso. La Agenda incorpora las primeras 10 acciones para una descarbonización acelerada del sector eléctrico y está construida sobre cuatro pilares:



Figura 2.2: Resumen del Plan de Medidas de Corto y Mediano Plazo para la Transición Energética Acelerada. Fuente: Ministerio de Energía



Se espera continuar con el incremento progresivo de fuentes renovables como la solar fotovoltaica y eólica, pero incorporando fuentes limpias y renovables que además provean atributos de seguridad a la red, permitan almacenar y entregar energía al sistema conforme las necesidades de consumo, y avanzar progresivamente en alternativas de reconversión tecnológica de infraestructura existente.

2.2.2.2 Diagnóstico que sustenta la Agenda

Aumento de las Energías Renovables No Convencionales Variables. Dado el retiro de las centrales a carbón, es necesario integrar mayor generación renovable en los horarios nocturnos, junto con tecnologías que puedan gestionar la inyección temporalmente (sistemas de almacenamiento).

Disminución de la participación de centrales convencionales. Esto ha tenido incidencia directa en el aumento sustancial en distintos tipos de pagos laterales en el mercado. Por ejemplo, el pago de servicios complementarios, de cargo de las empresas suministradoras que realizan retiros. También mayores requerimientos de reservas para el control de frecuencia y otras herramientas operacionales y de seguridad necesarias para el abastecimiento de la demanda de forma segura y eficiente, así como, la necesidad de mantener niveles de inercia y capacidad de cortocircuito.

Planificación de la transmisión y desarrollo de obras. El proceso de planificación del sistema eléctrico presenta plazos muy superiores a la anualidad con la que pretende promover obras, situación que se traduce en incertezas, a lo que se suman demoras en la licitación y construcción de las obras de transmisión, lo que ha llevado a problemas con empresas de transmisión y generadoras.

La Agenda presenta una serie de instrumentos y modificaciones regulatorias de corto y mediano plazo (ver Tabla 2.2), que intentan abordar distintos matices de la problemática descrita anteriormente, y se enfocan en transitar hacia una matriz energética limpia en un futuro cercano.

Tabla 2.2: Plazos de implementación del Segundo tiempo de la transición energética.
Fuente: Ministerio de Energía

Diagrama Resumen de Medidas		Plazo de implementación de la medida			
		2023		2024	
Nº	Medida	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
I. PROMOCIÓN DEL ALMACENAMIENTO					
1	Reglamento de Coordinación y Operación, y sistemas de almacenamiento				
2	Asignación de terrenos fiscales para promover el almacenamiento en subestaciones estratégicas				
3	Guía técnica de evaluación ambiental para proyectos de almacenamiento				
II. MITIGACIÓN DE RIESGOS A SUMINISTRADORES					
4	Ajustes de sistema de compensación del impuesto a las emisiones				
5	Modernización de las licitaciones de suministro de clientes regulados				
III. FLEXIBILIDAD OPERACIONAL					
6	Revisión y ajuste de los mínimos técnicos de centrales térmicas, coherente con la actualización de la norma de emisiones				
7	Modernización de la operación del sistema eléctrico				
IV. ACCIONES POLÍTICAS, REGULATORIAS Y OBRAS URGENTES					
8	Proyecto de Ley de Transición Energética: <i>Transmisión eléctrica como sector habilitante</i>				
9	Desarrollo de un Plan de Descarbonización				
10	Open Season de Obras Urgentes para desarrollar vía Art. 102º de la LGSE				

2.2.3 Comentarios

Si bien esta agenda para la transición energética considera muchas medidas y planes que otorgan mayor seguridad al sistema (como las iniciativas asociadas al almacenamiento), incentivando la incorporación de mayor capacidad de almacenamiento, flexibilidad operacional, y aportan en las metas de carbono neutralidad y mayor infraestructura habilitante para su cumplimiento; no se enfocan de manera directa en aportar a la resiliencia del sector frente a los efectos del cambio climático.



Desde este punto de vista, sería esperable que, en futuros planes de este tipo, se incorpore la temática de la resiliencia en el sector energía como un elemento de relevancia para mitigar los riesgos en la generación y abastecimiento de energía.

2.3 Proyecto de Ley de Transición Energética

2.3.1 Descripción general

Este Proyecto de Ley (PdL) modifica la Ley General de Servicios Eléctricos con el objeto de que el sector eléctrico, y en particular el segmento transmisión, se presente como un sector habilitante para la transición energética y, con ello, cumplir con las metas de nuestro país de carbono neutralidad al año 2050 en consonancia con la Ley Marco de Cambio Climático. De acuerdo con la versión disponible a la fecha⁹ de elaboración de este informe, en el proyecto se identifican las siguientes necesidades en el sector:

- Agilizar y perfeccionar los procesos que tienen relación con la puesta en marcha y desarrollo de proyectos de transmisión.
- Fortalecer el rol del Coordinador en materia de sustentabilidad y modernización de la operación del sistema eléctrico.
- Incentivar mayor participación en sistemas de almacenamiento.

2.3.2 Cambios que introduce

Alineado con la Agenda de Segundo Tiempo de la Transición Energética, el PdL incorpora parte de sus objetivos y, entre otros, busca también perfeccionar la Planificación Energética de Largo Plazo transformándola en un conjunto de procesos regionales que alimentan un Plan Nacional de Energía (PNE), plan que introduce el concepto de necesidades de transmisión estratégicas.

El PdL promueve la resiliencia climática, de manera explícita o indirecta, a través de las siguientes modificaciones:

- Incorporación del concepto en el nuevo PNE y sus escenarios de expansión.
- Instruyen al MEN a elaborar un Informe de Incidencia en la Gestión del Cambio Climático que debe incluir medidas para aumentar la resiliencia climática del sector.
- Incorporación explícita del concepto en la planificación de la transmisión en correspondencia con el PNE.
- Abrir la planificación de la transmisión a la propuesta de obras zonales para permitir las inyecciones de generación o almacenamiento distribuido.
- Innovación y modernización de la operación y coordinación del sistema eléctrico.

⁹ 10 de julio de 2023

2.3.3 Comentarios

En las materias de adaptación y resiliencia, en los siguientes puntos se plantean cuestiones que el PdL de Transición no considera o aborda:

- El PdL alude a adaptación y resiliencia, pero no aborda la necesidad de coordinación o coherencia entre escenarios climáticos usados por el sector u otros sectores de la economía. En particular, es posible plantear que, coherentemente, sea el MMA quien proyecte los escenarios climáticos plausibles a usar en las planificaciones de los distintos sectores del país, incluyendo sus consecuencias a nivel territorial. Por ejemplo, los impactos en la disponibilidad de energía primaria renovable y eventos extremos asociados a un escenario de aumento medio de la temperatura global. Los supuestos respectivos o atribuciones a quienes los adopten podrían ser puestos inicialmente en un artículo transitorio mientras el tema no se resuelva a nivel país.
- Deja fuera un pronunciamiento sobre los compromisos de suministro en situaciones de eventos climáticos extremos pero previsibles, en lo relativo a lo que se consideraría o no fuerza mayor, para efecto de las compensaciones a clientes regulados¹⁰. Esto, también sienta un marco de referencia para el suministro del segmento de clientes libres y para otros sectores energéticos.
- Los Planes Estratégicos de Energía en Regiones planteados no incorporan explícitamente la resiliencia. Hacerlo fomentaría la discusión a nivel local de las necesidades de ampliar infraestructura lo que podría reducir la actual oposición social de facto.

2.4 Opiniones de actores locales

Durante el desarrollo del estudio se llevaron a cabo un conjunto de sesiones de discusión con actores del sector energético y de infraestructura nacional. Las sesiones se plantearon en la forma de entrevistas semi estructuradas diseñadas para fomentar una discusión con el equipo del Centro de Energía destinada a capturar la visión particular de cada actor, desde su ámbito de experiencia, respecto de las temáticas de adaptación y resiliencia al CC. En el conjunto de tablas Tabla 2.3 a Tabla 2.6 se sintetizan los principales comentarios y desafíos capturados, en la forma de frases agrupadas por temática, ámbito de acción y sector. Esto, según la siguiente clasificación: Mn: minería, Rg: regulador (ministerios), Ag: asociación gremial y Em: empresas (hidrocarburos). En total se realizaron 17 entrevistas, en muchas de las cuales participaron varios profesionales que acompañaron al invitado principal, aportando también a la discusión.

¹⁰ Está el precedente de la modificación al artículo 99° bis que introdujo la Ley 19613 al DFL1 (LGSE en 1999) en relación con que la sequía no sería considerada fuerza mayor.

Tabla 2.3: Resultados de entrevistas: análisis e impactos identificados del cambio climático.

Temática	Mn	Rg	Ag	Em
Análisis e impactos identificados del cambio climático				
• Importante anticiparse a eventos extremos, planificar la recuperación y considerar las consecuencias a largo plazo, especialmente en eventos de baja probabilidad.		○	○	
• Importante evaluar las interdependencias entre sectores y la necesidad de coordinación público-privado en la transición energética.		○		
• Desde el sector privado, la adaptación está ocurriendo por necesidad.		○		
• Proyección de aumento de la demanda eléctrica en relación al uso de aire acondicionado y calefacción.		○		
• Se discuten los mismos temas de adaptación desde hace 5 años, sin avances de cómo abordar el CC.			○	
• Existe un sesgo hacia eventos históricos, centrándose principalmente en problemas de lluvia, ignorando otros impactos.			○	
• Desalación puede traer más problemas y aún no hay normativa.		○	○	
• Se ha avanzado en mitigación y transición energética, pero poco en adaptación y resiliencia.	○	○		
• El recurso hídrico es uno de los principales impactos identificados en la industria minera.	○			
• Preocupación por el impacto de los aluviones (invierno altiplánico) en tranques y relaves.	○			
• Seguridad de los trabajadores en condiciones extremas (olas de calor, lluvias torrenciales), aunque es un impacto asimilado en la industria minera.	○			
• Marejadas en los puertos: recurrente y conocido, se identifica como principal problema de suministro de combustible.	○	○		○
• Almacenamiento de combustibles en zonas inundables e infraestructura actual no es suficiente para soportar una demanda multiplicada en casos de crisis (terremotos, inundaciones, incendios).				○
• Eventos climáticos en Canal de Panamá o el Golfo de México también puede afectar el suministro en Chile.				○
• Geografía de Chile, con eventos climáticos afectando diferentes partes del país durante todo el año, ha llevado a un sistema frágil con frecuentes desafíos a la resiliencia.		○		○
• Sistemas de combustibles se enfrentan a eventos no climáticos (ej: paro de trabajadores o problemas viales).		○		○
• Incendios forestales son una preocupación importante en cuanto a la infraestructura de almacenamiento de combustibles y los oleoductos.				○
• Precipitaciones largas e intensas presenta riegos para los gasoductos que cruzan varias cuencas de ríos.				○
• Se evalúan mejoras de resiliencia de terminales, incluyendo el cambio de muelles flotantes a pasarelas, y la búsqueda de otras formas de conexión para no depender únicamente de la vía marítima (ej: gasoducto Chile – Argentina).				○
• Alta disponibilidad para el transporte de combustibles, pero clientes no tienen la capacidad de recibir grandes flujos.				○
• Mala ventilación en Quintero limita el transporte de combustible para disminuir emisiones, lo que sumado a marejadas complica la respuesta de la industria ante crisis de suministro.				○
• El suministro de combustibles depende en gran medida de la infraestructura de otros sectores, como caminos y puentes.		○		
• Eventos que se consideraban de baja probabilidad se han vuelto más recurrentes.		○		

Tabla 2.4: Resultados de entrevistas: presencia de exigencias o incentivos para implementar criterios de resiliencia.

Temática	Mn	Rg	Ag	Em
Presencia de exigencias o incentivos para implementar criterios de resiliencia				
• Varias instituciones financieras han mostrado interés o preocupación respecto de instrumentos financieros como seguros ante eventos climáticos, pero la ley no lo exige y queda en manos de cada empresa.		○		
• Empresas han actuado más bien por temas de presión social e imagen pública.		○		
• Se adoptan estándares internacionales de la industria minera para el manejo de relaves y realización de simulacros para eventos extremos.		○		
• Preocupación y esfuerzos por el impacto de la escasez de recursos hídricos.		○		
• Transporte de combustibles sujeto a normativas internacionales (DOT y ASTM). Se han adoptado criterios de resiliencia en el diseño por precaución (ej: profundidad del oleoducto).				○
• El hidrógeno verde podría ser una oportunidad para mejorar la resiliencia de los puertos.		○		
• Nuevo capítulo de la norma ISO 55.001 hará referencia sobre el impacto del cambio climático en la infraestructura.		○		
• El incentivo para la adaptación y resiliencia es el costo de inacción, que incluye daños en el territorio, impacto social, material y, especialmente, pérdidas de vida.		○		

Tabla 2.5: Resultados de entrevistas: dificultades en la implementación de criterios de resiliencia.

Temática	Mn	Rg	Ag	Em
Dificultades en la implementación de criterios de resiliencia				
• Necesidad de metodologías claras para invertir en resiliencia.		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
• Valorizar la inversión en resiliencia es un aspecto complicado debido al costo de inacción y las consecuencias multidimensionales de los eventos extremos.		<input type="radio"/>		
• Tomar decisiones respecto a la resiliencia es un desafío debido a la participación de actores relevantes y a la diversidad de eventos a los que es necesario prepararse, como terremotos, volcanes, incendios y aluviones.		<input type="radio"/>		
• La complejidad de proyectar experiencias futuras se ve aumentada por la incertidumbre del cambio climático, lo que requiere desarrollar metodologías adecuadas, ya sea determinísticas o probabilísticas.		<input type="radio"/>		
• Hidrocarburos no tienen incentivo para invertir en un contexto de descarbonización (ej: electromovilidad).		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
• Falta una mayor bajada de información sobre eventos extremos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Empresas confían en que el Estado se hará cargo.			<input type="radio"/>	
• Falta de planificación territorial que condicione nuevas obras.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Falta metodología para medir resiliencia en obras de energía.			<input type="radio"/>	
• Diferentes características de las faenas mineras implican distintos problemas a los que se enfrentan.	<input type="radio"/>			
• Las comunidades no quieren más almacenamiento y las regulaciones hacen difícil implementar cambios en este aspecto.		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
• Falta de un plan de acción coordinada entre los actores involucrados.				<input type="radio"/>
• Desafíos de financiamiento para proyectos de infraestructura al competir con precios fluctuantes de importación.				<input type="radio"/>
• Hacerse cargo de los combustibles es costoso políticamente debido a la oposición ciudadana.		<input type="radio"/>		
• La distribución eléctrica se caracteriza por ser reactiva en lugar de proactiva en la gestión de eventos climáticos.		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
• La presión tarifaria limita el desarrollo de estándares costosos.		<input type="radio"/>		
• El sistema nacional no es apto para incorporar soluciones de otros lugares.			<input type="radio"/>	
• Cerca de los ductos se ha ubicado población migrante, lo cual representa un peligro para las comunidades y para la misma infraestructura.				<input type="radio"/>

Tabla 2.6: Resultados de entrevistas: aristas y criterios a incorporar en próximas regulaciones o normativas, y carencias o falencias en regulaciones existentes.

Temática	Mn	Rg	Ag	Em
Aristas y criterios a incorporar en próximas regulaciones o normativas, y carencias o falencias en regulaciones existentes				
• Existe falta de consenso y claridad en el concepto de resiliencia, se abordan algunos casos de eventos extremos en la planificación de transmisión (Tx), no hay proyectos específicos enfocados en la resiliencia del sistema eléctrico.		○	○	
• En otras áreas (distintas a electricidad) como puertos e infraestructura energética surgen otras normativas, como la construcción antisísmica.		○		
• Oportunidad de incluir la resiliencia en los SS.CC.		○	○	
• Necesidad de abordar el concepto de resiliencia en el contexto de fuerza mayor.		○		
• Importancia del gas en la transición energética es un tema en debate, y la mesa de descarbonización será un espacio para discutir el rol de los combustibles.		○		
• Falta de medidas transversales y metodologías claras para abordar la resiliencia.		○	○	
• Avanzar en contratos estandarizados que permitan incorporar cláusulas sobre cambio climático y resiliencia.				○
• Elaborar guía para implementar resiliencia con enfoque local.	○			
• Incluir articulación de distintas instituciones públicas y privadas.	○			
• Estandarización de la información y proyecciones con detalle local.	○			
• Necesidad de normativas claras y concretas para obtener permisos y desarrollar infraestructura en zonas críticas.				○
• Incluir opciones para transferir los costos de aumentar la resiliencia.				○
• Está el desafío de establecer umbrales entre un servicio no excesivamente caro y un servicio estable.		○		
• Es más difícil cambiar estándares establecidos en la ley que aquellos a nivel de reglamentos. La ley puede establecer procesos para incluir conceptos de resiliencia.		○		
• Dicotomía entre la estabilidad regulatoria y la flexibilidad regulatoria. La primera entrega certeza y la segunda es necesaria para adaptarse a los cambios.		○		
• Regulación actual no proporciona incentivos para realizar obras de resiliencia, y que el regulador prioriza el mínimo costo en la planificación.			○	

Muchos de los comentarios presentados alimentaron las discusiones internas del equipo de trabajo con la contraparte y contribuyeron tanto a profundizar temas como a orientar recomendaciones y líneas de acción futura en torno a adaptación y resiliencia climática. Asimismo, permitieron dar cuenta de la percepción y estado de desarrollo tanto de la temática como de otras materias afines, en los distintos sectores

3 Diagnóstico, revisión de antecedentes internacionales

3.1 Selección de países y primer diagnóstico internacional

La revisión de experiencias internacionales se realiza considerando 2 ámbitos: 1) Experiencias internacionales exitosas de infraestructura energética resiliente implementadas o en desarrollo; 2) Experiencias internacionales exitosas de legislación, regulación o normativa que aborde la resiliencia y/o adaptación al cambio climático en el sector energía a nivel general.

Para seleccionar los países, se hace una revisión de fuentes de información que den cuenta del estado de avance que han tenido los distintos países en temas de adaptación al cambio climático. Las fuentes de información seleccionadas fueron las siguientes:

- EIA, Climate Resilience, Electricity Security 2021
- European Environment Agency (EEA), Adaptation challenges and opportunities for the European energy system, 2019
- IEA, Climate Resilience Policy Indicator
- Henley Global, Global Climate Resilience Ranking
- Indicador Readiness ND-GAIN

En (EEA, 2019) se identifican los países que han realizado un análisis del impacto del cambio climático en su territorio, que han elaborado planes de adaptación y que han implementado acciones concretas de adaptación. La Tabla 3.1 muestra el resumen realizado en (EEA, 2019). Por ejemplo, Alemania ha elaborado análisis de impacto climático, incluyendo el impacto en el sector energía, también planes de adaptación (incluyendo el sector energía) y ha implementado acciones concretas de adaptación.

En la página web del Indicador de Resiliencia Climática de la Agencia Internacional de la Energía AIE (Climate Resilience Policy Indicator), se indica que la mitad de los países miembros están clasificados como excelentes o buenos en términos de política de resiliencia climática. Se menciona que el 13% de los países de la AIE, incluidos Irlanda, Italia, Noruega, España y el Reino Unido, están altamente preparados de acuerdo con el nivel de riesgo climático al que se enfrentan.

El Global Climate Resilience Ranking (Henley Global) es un ranking que analiza el nivel de vulnerabilidad y preparación de los distintos países ante las amenazas del cambio climático¹¹. De acuerdo a este ranking, los 6 países mejor preparadas son Estados Unidos, Reino Unido, Suiza, Canadá, Australia, Luxemburgo e Italia. Luego se destacan Singapur, Irlanda, Australia, España, Nueva Zelanda, Dubai, Portugal y Turquía. La elaboración de este ranking se basa en los indicadores "Readiness score" y "Vulnerability score" elaborados por la Universidad de Notre

¹¹ <https://www.henleyglobal.com/publications/investment-migration-climate-resilience-index/top-15-programs>

Dame. Asimismo, el ranking también considera el nivel de ingreso de los países medidos en términos del PIB y PIB per cápita.

Tabla 3.1: Revisión internacional sobre análisis de adaptación al cambio climático.
Fuente: (EEA, 2019)

Country	Document				
	Climate change impact, vulnerability and risk (CCIV) assessments	National adaptation strategies (NAS) and plans (NAP)		Country fiches	UNFCCC
	Availability of national CCIV assessment	Coverage of the energy sector in national CCIV assessments	NAS and/or NAP adopted	Coverage of the energy sector in NAS and/or NAP	Adaptation measures implemented in the energy sector
Austria					
Belgium					
Bulgaria					
Croatia					
Cyprus					
Czechia					
Denmark					
Estonia					
Finland					
France					
Germany					
Greece					
Hungary					
Iceland					
Ireland					
Italy					
Latvia					
Liechtenstein					
Lithuania					
Luxembourg					
Malta					
Netherlands					
Norway					
Poland					
Portugal					
Romania					
Slovakia					
Slovenia					
Spain					
Sweden					
Switzerland					
Turkey					
United Kingdom					

El índice “Readiness score” o de “preparación ante cambio climático” elaborado por la Universidad de Notre Dame¹² mide la capacidad de los países en transformar las inversiones en acciones concretas de adaptación al cambio climático. La siguiente tabla muestra el ranking para este indicador.

¹² <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/rankings/>

Tabla 3.2: Ranking de preparación elaborado por Universidad de Notre Dame.

ND-GAIN INDEX		VULNERABILITY		READINESS			
READINESS		ECONOMIC		GOVERNANCE		SOCIAL READINESS	
Rank	Country	Income group	Score				
1	Singapore	Upper	0.804				
2	Denmark	Upper	0.775				
3	Norway	Upper	0.765				
4	Finland	Upper	0.751				
5	Monaco	NA	0.747				
6	Republic of Korea	Upper	0.725				
7	Sweden	Upper	0.723				
8	Iceland	Upper	0.717				
9	New Zealand	Upper	0.704				
10	Switzerland	Upper	0.694				
11	Australia	Upper	0.690				
11	Germany	Upper	0.690				
11	Japan	Upper	0.690				
14	Austria	Upper	0.687				
15	Netherlands	Upper	0.684				
16	United Kingdom	Upper	0.683				
17	Luxembourg	Upper	0.672				
18	United States	Upper	0.653				
19	Canada	Upper	0.652				
20	France	Upper	0.649				

Luego, a partir de la revisión de las fuentes internacionales anteriores, se busca identificar aquellos países que son nombrados por más de una referencia como un país altamente preparado ante el cambio climático. Adicionalmente, se agrega al análisis un atributo para caracterizar la vulnerabilidad de estos países ante el cambio climático (exposure index), el cual fue también extraído del ranking elaborado por la Universidad de Notre Dame. De esta forma, se busca identificar países que tengan un nivel de vulnerabilidad igual o superior a los efectos del cambio climático.

La siguiente tabla muestra el resumen de este análisis y se identifican aquellos países que podrían ser buenos ejemplos de experiencias internacionales. El indicar número (1, 2, 3, 4 o 5) de la columna (EEA, 2019) hace alusión a la cantidad de temáticas abordadas en materia de adaptación al cambio climático (columnas de la Tabla 3.3). El número 5 indica que en el país se ha analizado el impacto del cambio climático, se han elaborados planes de adaptación y se han implementado acciones concretas, incluido el sector energía. La última columna establece un ranking de vulnerabilidad al cambio climático de un total de 192 países. Entre más alto es el ranking, más expuesto se encuentra el país a los fenómenos del cambio climático. Chile está en la posición 52.

De acuerdo este análisis, se propuso preliminarmente considerar los siguientes países: Alemania, Países Bajos, Reino Unido, Suiza, España, Francia y Estados Unidos. Finalmente, al considerar la variable de vulnerabilidad, en conjunto con la contraparte técnica se decide analizar con mayor nivel detalle las experiencias del Reino Unido, Estados Unidos, Alemania y

Japón, este último debido principalmente a su alta exposición al cambio climático (ranking 166 de 192 de países).

Tabla 3.3: Selección de países altamente preparados en materia de adaptación al CC.

País	EEA 2019	Climate Resilience Policy Indicator	Global Climate Resilience Ranking	Readiness index	Exposure index	Seleccionado
Alemania	5		OK	OK	29/192	Preseleccionado
Australia			OK	OK	133/192	
Bélgica	5				27/192	
Canadá			OK		88/192	
Corea del Sur			OK		177/192	
Dinamarca	3		OK	OK	94/192	
España	5	OK			39/192	Potencialmente
Estonia	4				49/192	
Finlandia	3			OK	97/192	
Francia	4		OK		61/192	Potencialmente
Irlanda		OK			76/192	
Italia	2	OK	OK		94/192	
Japón			OK		166/192	
Luxemburgo	4		OK		6/192	
Noruega	3	OK	OK	OK	55/192	
Países Bajos	5		OK	OK	61/192	Preseleccionado
Portugal	2				57/192	
Reino Unido	5	OK	OK	OK	56/192	Preseleccionado
Singapur				OK	175/192	
Suecia	3		OK	OK	73/192	
Suiza	5		OK	OK	10/192	Preseleccionado
Estados Unidos			OK	OK	134/192	Potencialmente

3.2 Revisión de experiencias previas

En esta sección se exponen los resultados de la revisión de experiencias internacionales exitosas de infraestructura energética resiliente implementadas o en desarrollo. Se analizan en detalle seis (6) de ellas, tratando de especificar (en la medida que se disponga de información) el contexto del caso de estudio, características técnicas del proyecto, resumen del proceso de implementación o desarrollo a la fecha, nivel de éxito alcanzado en caso de que esté implementado, inversión y fuentes de financiamiento, relación con el sector energético, barreras regulatorias o de otro tipo para su implementación en Chile, contexto (geográfico,

social, económico, etc.), aporte concreto a la adaptación a la crisis climática, resguardos para no tener efectos indeseables o mala adaptación, entre otras que se definan con la contraparte técnica. Se propone que, al menos, dos (2) de las experiencias detalladas sea una solución basada en la naturaleza.

Se aplicaron los siguientes criterios para seleccionar las iniciativas de interés:

- Que la iniciativa pertenezca a un país que sea reconocido internacionalmente por sus avances en materias de adaptación al cambio climático (ver análisis anterior).
- Que la iniciativa sea novedosa para la experiencia chilena (por ejemplo, las medidas de soterramiento de las líneas o manejo de podas de árboles son importantes, pero no muy novedosas)
- Que potencialmente sea aplicable al caso chileno (por ejemplo, medidas contra huracanes podría no ser tan críticas para la realidad de chilena, sin perjuicio de que la incertidumbre derivada del cambio climático podría modificar los escenarios en el futuro)
- Que abarquen distintos segmentos del sector energía en su conjunto (electricidad y combustibles): generación, transmisión, distribución, almacenamiento, etc.

De la revisión de la literatura internacional se identifican los siguientes tipos de medidas en el ámbito de la operación de los sistemas y de desarrollo de infraestructura para la adaptación al cambio climático en el sector energético¹³:

1. Crecidas de ríos y aluviones: Reacondicionamiento de centrales hidroeléctricas para control de crecidas y aluviones.
2. Falta de suministro de agua para centrales termoeléctricas y CSP: mejoras en la eficiencia en el uso de agua; uso de tecnologías de enfriamiento en seco e híbridas; uso de plantas de desalinización, uso de sistemas de almacenamiento para compensar falta de suministro.
3. Protección de zonas costeras y protección ante aluviones: barreras protectoras, endurecimiento, uso de cubiertas; construcción de dique, etc.
4. Red de transmisión y distribución: Ajustar temperatura de diseño de equipos, cambios en los estándares de operación, uso de equipamiento eléctrico diseñado para altas temperaturas, mejoras en la aislación debido a bajas temperaturas, soterramiento de líneas, uso de barreras de protección, planes de manejo de poda de árboles, sellado de cables, elevación de subestaciones, uso de microrredes para operación en modo isla ante cortes de suministro.
5. Aumento y disminución de temperaturas: Reacondicionamiento térmico de viviendas y cambios en la norma de construcción.
6. Stock de seguridad para manejo de combustibles líquidos y fósiles.

A continuación, se describen con mayor nivel de detalle alguna de estas acciones. Es importante hacer notar que se revisaron y describieron algunas medidas que finalmente no fueron incluidas dentro de las seis seleccionadas. Estas fueron trasladadas al Anexo C con el fin de no perder dicha

¹³ Fuente: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>, y (EEA, 2019)



información, al igual que las referencias y casos revisados (tanto los enviados por la contraparte técnica como los del consultor).

3.3 Sector eléctrico

A continuación, se describen ejemplos de experiencias internacionales que afectan a los sectores generación, transmisión y distribución de electricidad.

3.3.1 Mejorar la resistencia a las inundaciones mediante la construcción de muros contra inundaciones (Reino Unido, segmento distribución y transmisión)

Contexto y definiciones

De acuerdo con el diagnóstico realizado en Reino Unido, un gran número de subestaciones se encuentra en planicies inundables por lo que, si ocurre una inundación, esta infraestructura se puede dañar ocasionando grandes perjuicios en la vida de las personas y servicios básicos. Precisamente, en este país, se espera que el cambio climático aumente el riesgo de inundación, aumentando la intensidad y frecuencia de este tipo de eventos.

Estrategia implementada

La solución de la medida fue instalar barreras contra inundaciones, medidas portátiles de defensa contra inundaciones, terraplenes de tierra, puertas y compuertas, sistemas de drenaje y estaciones de bombeo. En subestaciones más grandes se construye un muro de contención en el perímetro de todo el terreno (como ejemplo, en la subestación de Walham se construyeron muros de hormigón de 1,6 a 1,9 metros de altura capaz de proteger de inundaciones que estadísticamente se dan una vez cada mil años.).

En una etapa inicial se identificaron 11 subestaciones con alto riesgo de inundación y en una segunda etapa se agregaron 38 subestaciones de mediano riesgo de inundación. El costo de implementación fue estimado en 117 millones de libras, sin embargo, se espera que esto compense los daños ocasionados por inundaciones en la red eléctrica y los efectos que esto podría tener en otros sectores y servicios.

Más información en (“Flood Defence Framework for National Grid Substations in United Kingdom — English,” n.d.)



Figura 3.1: Construcción de barreras de protección de subestaciones.

Relación con sector energético e implementación en Chile

De acuerdo con la experiencia del Reino Unido se puede identificar como primera barrera la existencia del mapeo completo de las subestaciones que presenten algún riesgo de inundación, para ello sería necesaria realizar el cruce entre la ubicación geográfica de cada una de las subestaciones del país con los mapas de riesgo climático, en particular, de riesgo de inundación. Para robustecer el análisis de subestaciones (SSEE) con riesgo de inundación se recomienda realizar el cruce de información mencionado anteriormente. Adicionalmente, tal como en Reino Unido, clasificar cada subestación de acuerdo con el grado de severidad e implementar la medida acá propuesta priorizando aquellas con mayor riesgo. La otra barrera identificada corresponde al financiamiento de la medida puesto que evidentemente esto corresponde a una inversión adicional que debe ser valorizada en la tarificación de la transmisión y costada finalmente por los usuarios. Este tipo de obras adicionales podría ser incluido en el proceso de tarificación los cuales serían traspasados a clientes finales de tal forma que la empresa modelo reconozca obras asociadas con resiliencia en contexto de cambio climático. No obstante, sorteadas estas barreras y en caso de que existan subestaciones con alto riesgo de inundación sería posible implementar la medida si los costos de inversión son compensados por la minimización al riesgo identificado.

3.3.2 Revisión de estándares de diseño de líneas aéreas (Reino Unido, segmento distribución y transmisión)

Contexto y definiciones

Se espera que la frecuencia de olas de calor en el Reino Unido aumente como consecuencia del cambio climático. Este aumento de temperatura afectaría directamente las líneas de distribución y transmisión debido a la expansión térmica del conductor, haciendo que estas se pandeen bajo los límites establecidos por la regulación, siendo un peligro al estar en contacto con árboles o con las mismas personas. Este proyecto se enmarca en la revisión y actualización del diseño de líneas aéreas británicas, estableciendo nuevos límites técnicos operacionales en escenarios de cambio climático.

Estrategia implementada

Esta medida consiste en la adaptación de normas de diseño la red de distribución y transmisión para enfrentar para hacer frente a los aumentos de temperaturas y olas de calor. Una de las medidas implementadas por la compañía Western Power Distribution (WPD) del Reino Unido consiste en aumentar la altura de diseño de los postes para mantener la flecha de la línea dentro de los límites de seguridad. En este sentido, se ha modificado la temperatura mínima de diseño de las líneas de transmisión. Otras medidas exploradas por esta compañía consisten el uso de conductores con límites térmicos de operación más alto y el uso de conductores de baja caída que reducen la flecha ("low sag").

La medida más rentable identificada fue aumentar la temperatura mínima de diseño de los nuevos trazados de líneas aéreas, y como consecuencia se aumentaría la altura de diseño de los postes de madera en 0,5 metros para no infringir límites legales de altura de la flecha del conductor. Se estima que el cambio de altura en los postes tiene un costo aproximado de 10 libras por poste.

La implementación de este nuevo estándar diseño de líneas aéreas se encuentra actualmente en desarrollo.

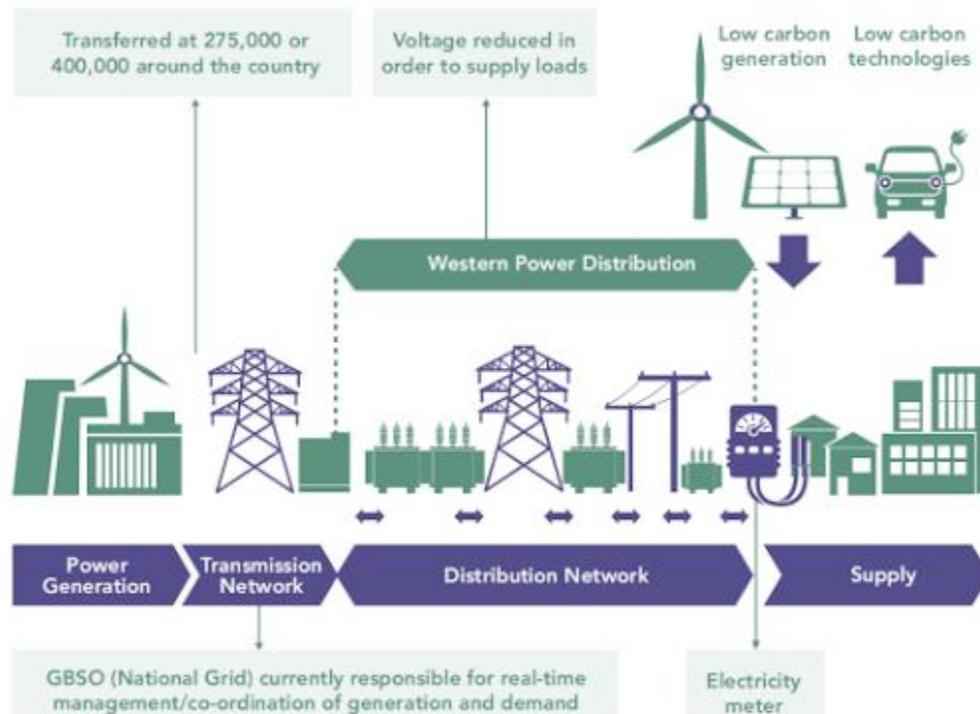


Figura 3.2: Esquema red de distribución y transmisión en Reino Unido.

Relación con sector energético e implementación en Chile

Al igual que en Reino Unido se espera que en Chile aumente la frecuencia de olas de calor como consecuencia al cambio climático por lo que una medida de esta naturaleza. Como barrera se

puede identificar la normativa con la que se regula el segmento de la distribución que apunta a comparar la estructura de costos de las empresas con una empresa modelo altamente eficiente en el proceso de tarificación, por lo que cualquier costo adicional que no tenga como objetivo mejorar la eficiencia operacional es muy difícil que se aplique voluntariamente por las empresas. En caso de que las empresas de distribución analicen que en contexto de una ola de calor extrema se produzcan cortes intempestivos del suministro eléctrico, poniendo en riesgo la calidad de servicio, es probable que la medida adoptada por la empresa de distribución en Reino Unido también pueda ser adoptada en Chile. Para evitar que existan barreras de conocimiento, la realización de estudios en el país de este fenómeno podría ser un incentivo suficiente para que las empresas de distribución lo internalicen en sus futuras inversiones.

3.4 Sector otros energéticos (distintos al sector eléctrico)

En esta sección se revisa un ejemplo de experiencias implementadas asociadas a la infraestructura energética de combustibles líquidos y gaseosos.

3.4.1 Puerto de San Diego – Marco de Gestión Adaptativo

Contexto y definiciones

El año 2019, el Puerto de San Diego, California, publica su reporte de Evaluación de Vulnerabilidad ante Aumento del Nivel del Mar y Resiliencia Costera, en contexto del Plan de Acción Climática del mismo puerto. En el reporte, se presentan las metodologías asociadas al aumento del nivel del mar, evaluación de vulnerabilidad, planes de adaptación y estrategias de implementación (Port of San Diego, 2019).

Considerando la incertidumbre de las proyecciones de aumento del nivel del mar, se propone un Marco de Gestión Adaptativo, definido como “un proceso iterativo de planificación, implementación y modificación de estrategias para el manejo de recursos en contexto de cambios e incertidumbre”. Este proceso iterativo se compone de 3 etapas en el siguiente orden: evaluación de vulnerabilidad, plan de adaptación e implementación de estrategias.

La evaluación de vulnerabilidad corresponde al entendimiento de los riesgos de exposición ante un evento extremo o tendencias climáticas. Se consideran proyecciones de escenarios potenciales, posibles áreas y estructuras afectadas, entre otras informaciones relevantes.

Luego, se elabora un plan de adaptación como guía para la selección e implementación de estrategias de adaptación, las cuales se resumen en 3 tipos: protección, adaptación y ajuste. Las estrategias de protección utilizan infraestructura para defender áreas o estructuras; las de adaptación permiten la operación en entornos sujetos a exposición; y las de ajuste se enfocan en remover o relocalizar desarrollos existentes y limitando el desarrollo en áreas vulnerables.

Para elegir la o las estrategias de adaptación en un área específica, se propone el siguiente proceso:

1. Definir la meta de adaptación.
2. Identificar potenciales estrategias: ¿cuáles estrategias abordan los impactos identificados? Considerando la exposición, sensibilidad, capacidad de adaptación, impacto financiero o impactos en cascada.
3. Identificar límites y beneficios: descripción cualitativa y cuantitativa, permitiendo la comparación entre estrategias.
4. Evaluar factibilidad: ¿pueden las estrategias ser implementadas técnica, financiera y legalmente?
5. Evaluar idoneidad: ¿son las estrategias consistentes con las políticas y planes? ¿son proporcionales al impacto?

Algunas de las estrategias de adaptación a nivel de puertos frente al aumento del nivel del mar y otros eventos relacionados son:

Tabla 3.4: Estrategias posibles de implementar en puertos en contexto de aumento del nivel del mar, por tipo de estrategia.

Estrategia	Tipo	Descripción	Costo
Estrategias políticas			
Proteger los distintos usos, infraestructura acceso del distrito portuario	Protección	Los usos dependientes de la costa, la infraestructura crítica y las vías de acceso público deben emplear estrategias de adaptación costera que las protejan, y luego se adapten, contra inundaciones	N/A.
Límite de reconstrucción en ubicaciones de riesgo	Protección	Prohibir la reconstrucción de estructuras dañadas por tormentas o inundaciones en áreas altamente vulnerables o prohibir la reconstrucción de estructuras con pérdidas repetitivas.	N/A.
Estándares de diseño	Adaptación	Incluir requisitos mínimos de elevación para estructuras y/o servicios públicos.	N/A.
Proporcionar distancias adecuadas	Ajuste	Prescribe una distancia desde el frente de agua desde la cual toda o ciertos tipos de desarrollo están prohibidos.	N/A.
Estrategias naturales o basadas en la naturaleza			

Línea de costa viva (atenuación de las olas)	Protección	Amortiguar estuarios, bahías y otras costas protegidas de la acción de las olas. Permite estabilizar la línea de costa, reducir la erosión y proporcionar hábitat	\$1.000/pie
Rompeolas vivos (Arrecife de Ostras / Arrecife Flotante)	Protección	Diseñado para proteger contra las marejadas y la erosión costera, un rompeolas vivo está intencionalmente diseñado para incorporar componentes de hábitat natural.	\$500.000/acre
Concreto bioactivo	Protección	Aditivos de concreto bioactivos, texturas de superficie complejas y diseño basado en ciencia. Las estructuras están diseñadas para fomentar el crecimiento de flora y fauna, lo que puede proporcionar protección en zonas costeras.	\$2.750/unidad
Recarga de playas	Adaptación	La práctica de agregar grandes cantidades de arena o sedimentos a las playas para combatir la erosión y aumentar el ancho de la playa.	\$19/yd ³
Terrazas de humedales	Adaptación	Una técnica de restauración de humedales utilizada para convertir el fondo submareal poco profundo en pantano. Utiliza los sedimentos existentes en el fondo para formar terrazas o crestas a la elevación del pantano.	\$6.500/pie
Aumento de sedimentos	Adaptación	Aumento artificial de sedimentos en superficies de pantano o elevación de camas de pastos marinos.	\$700.000/pulgadas por acre
Restauración	Adaptación	Restauración de la hidrología natural de pantanos de sal o pastos marinos, o excavación extensiva con revegetación.	\$16,000- \$45.000/acre
Estrategias de línea de costa			

Revestimiento (dinámico/geotextil)	Protección	Estructuras inclinadas colocadas en bancos o acantilados de tal manera que absorben la energía del agua entrante. Estas estructuras están hechas de una variedad de materiales, incluyendo geotextiles rellenos de arena o lodo; piedra; piedra o grava con cemento; y asfalto.	\$325/pie
Rompeolas (Caja de Ramas/Flotante/Su bmarino)	Protección	Un rompeolas es una estructura costera (generalmente una estructura de montículos de rocas y escombros) que se proyecta hacia el mar para proteger las embarcaciones de las olas y las corrientes y proteger una zona costera.	\$200/pie ² o \$16.000/pie
Muro de contención	Protección	Estructuras verticales de estabilización de la línea de costa que solo retienen cargas de sobrecarga y suelo detrás de la carga.	\$13.500/pie
Muro de contención marina	Protección	Proteger la línea de costa de las cargas de las olas y retener cargas de sobrecarga y suelo detrás del muro.	\$4.200/pie
Espigones	Protección	Una estructura de protección costera construida perpendicular a la línea de costa para reducir la deriva litoral y atrapar sedimentos.	\$5.100/pie
Puertas sectoriales flotantes		Barreras flotantes contra marejadas navegables que se mueven o rotan horizontalmente para cerrar una vía de agua ante una marejada.	\$5 millones/puerta
Estrategias de edificación e infraestructura			
Embalse	Protección	Una pared o banco de tierra o piedra con lados inclinados, construida para evitar que un cuerpo de agua inunde un área de tierra.	\$3,400/ pie lineal
Barreras retractiles	Protección	Barreras temporales utilizadas para proteger un activo de posibles inundaciones.	\$325/ pie

Elevación	Adaptación	Aumentar la altura del suelo transitable de un activo o instalación.	\$44/ pie ²
Parque inundable	Adaptación	Diseñado para tener áreas con menor pendiente que puedan aceptar y retener el exceso de agua de áreas cercanas que experimentarían daños por inundaciones.	\$750,000/ acre

Recordando la propuesta de marco de gestión adaptativa, como un proceso iterativo de toma de decisiones, es necesario tener un sistema de monitoreo que permita entender la evolución de las condiciones del área, y cuando implementar la o las estrategias de adaptación. Para esto, se tiene un programa de monitoreo en y alrededor de la bahía, el cuál considera los siguientes indicadores:

Tabla 3.5: Indicadores de monitoreo para evaluación de estrategias de adaptación.

Indicador	Descripción
Indicadores físicos	
Niveles del agua	Medición de elevaciones de agua tranquila en la Bahía de San Diego
Actividad de las olas	Medición de las elevaciones máximas de agua asociadas con marejadas y actividad de olas
Niveles de marea	¿Las mareas superan un umbral definido?
Frecuencia de tormentas	Medición del número de eventos de tormentas anuales
Indicadores biológicos	
Extensión y migración del hábitat	Mapeo de las áreas y extensiones de hábitats en y alrededor de la Bahía de San Diego
Salud del hábitat	Evaluación de la diversidad de tipos de hábitats para respaldar ecosistemas saludables
Indicadores operativos	
Frecuencia de inundaciones	Conteo de eventos de inundaciones que ocurren en el entorno construido



Desempeño de la infraestructura de defensa contra inundaciones	Medición de cómo responden los dispositivos existentes a la inundación y las inundaciones costeras temporales.
Costo de respuesta	Estimación del costo de responder y reemplazar activos dañados por eventos de inundaciones.

Finalmente, la implementación de estrategias puede ocurrir producto de la identificación de riesgos o cambios observados por el monitoreo, o también pueden surgir durante restauración de hábitats, instalación de nueva infraestructura o el desarrollo de nuevos usos o negocios.

La selección de estrategias es una decisión importante, y debe seguir un proceso de toma de decisiones como la descrita. De esta forma, los tomadores de decisión y personal del puerto pueden tomar decisiones informadas y defendibles para reducir el riesgo del proyecto y dineros públicos.

Cabe destacar que planificar proactivamente no significa que las estrategias deban diseñarse para reducir los impactos de los peores escenarios. Pueden diseñarse e implementarse a corto plazo para protegerse contra las proyecciones más probables, pero teniendo la capacidad de adaptarse a niveles más altos en la medida que las condiciones lo justifiquen.

Estrategia implementada

El puerto de San Diego tiene un proyecto en estado de implementación, llamado “Wetland Mitigation Bank at Pond 20” (Port of San Diego, 2021), el cual corresponde a la construcción de 76.5 acres (0.3 km² aprox.) de humedales costeros para crear un banco de mitigación. Se construye sobre el “estanque 20”, un antiguo estanque de evaporación de sal vacío, con poco valor de hábitat debido a su superficie cubierta de sal y plantas invasoras. La banca de mitigación de humedales en este estanque respaldaría servicios ecosistémicos, como la protección contra marejadas y erosión, el aumento de la biodiversidad, la mejora de la calidad del agua, y la capacidad de secuestro de carbono, entre otros servicios.



Figura 3.3: Ubicación del proyecto “Wetland Mitigation Bank at Pond 20”, puerto de San Diego, California.

Relación con sector energético e implementación en Chile

Los puertos constituyen una parte esencial en la cadena de transporte de los combustibles en Chile, producto del alto nivel de importación por barcos. Las marejadas han significado el cierre de puertos ya que los barcos no logran la estabilidad necesaria para el desembarque de producto, y su conexión implicaría un alto riesgo de daños estructurales.

La implementación en Chile de un marco de gestión adaptativo como el propuesto en este piloto representaría un plan de acción necesario para habilitar la operación de puertos en un rango mayor, considerando la proyección de aumento de marejadas y del nivel del mar. No obstante, se identifican 2 principales barreras de implementación:

1. Permisos de impacto ambiental y de construcción acorde a los planos reguladores: algunos de los principales puertos de Chile se caracterizan por ubicarse en zonas históricamente conocidas como zonas de sacrificio (Quintero-Puchuncaví [3]) por su relación con la industria de refinería, generación eléctrica a carbón o industrias similares de alta emisión de gases y material particulado, o en zonas urbanas como Valparaíso y San Antonio. Proponer nuevas construcciones en los mismos puertos tendría que ser acorde a los requisitos ambientales, sociales y de planificación urbana.
2. Diseño actual de los puertos de acceso abierto al mar, en zonas costeras de alta profundidad: los puertos en Chile no tienen acceso a canales interiores, sino que más bien se componen de muelles tipo pasarela en dirección al mar o de acceso directo en la costa (ver figura a continuación). Luego, varias de las estrategias de adaptación mencionadas no tendrían cabida, ya que las construcciones al interior del mar deberían tener una gran altura y complejidad de construcción (por ejemplo, para instalar barreras, arrecifes, líneas costeras, entre otras).



Figura 3.4: Puerto de Antofagasta (arriba-izquierda), puertos en zona de Quinteros y Puchuncaví (arriba-derecha), puerto de Valparaíso (abajo-izquierda) y puerto de San Antonio (abajo-derecha).

3.4.2 Sistemas de alerta temprana basado en imágenes satelitales y monitoreo in situ

Contexto y definiciones

En Europa existe una considerable experiencia con los sistemas de alerta temprana, especialmente en lo que se refiere al riesgo de inundaciones y crecidas repentinas, tormentas, incendios forestales, olas de calor y sequías. Los sistemas de alerta temprana son directamente pertinentes para diversos sectores que son los principales afectados por los riesgos relacionados con el clima, como la salud, la reducción del riesgo de catástrofes, la agricultura, la silvicultura, la construcción y las zonas costeras y urbanas. Otros pueden beneficiarse indirectamente de los sistemas de alerta temprana, como el sector del transporte, si las carreteras o las vías férreas se cierran con antelación antes de que los seres humanos se vean afectados negativamente, o el turismo, al garantizar que se avisa a los grupos de turistas para que no accedan a una zona determinada o eviten las actividades al aire libre durante periodos de condiciones meteorológicas extremas¹⁴.

¹⁴ Ejemplos en: <https://cordis.europa.eu/article/id/422577-climate-services>



Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S)

El Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) tiene como objetivo apoyar las políticas y acciones climáticas europeas, contribuyendo a construir una sociedad europea con mayor resiliencia frente al cambio climático inducido por el hombre.

Copernicus es el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. Consiste en un complejo conjunto de sistemas que recogen datos de múltiples fuentes: satélites de observación de la Tierra y sensores in situ, como estaciones terrestres y sensores aerotransportados y marítimos. Copernicus procesa estos datos y proporciona información a los usuarios a través de un conjunto de servicios que abordan seis áreas temáticas: terrestre, marina, atmósfera, cambio climático, gestión de emergencias y seguridad.

El C3S proporciona información sobre el cambio climático y sus repercusiones en numerosos sectores a través del Almacén de Datos Climáticos, que incluye

- Variables Climáticas Esenciales (VCE),
- Observaciones climáticas,
- Reanálisis climáticos,
- Proyecciones climáticas,
- Indicadores de impacto climático.

Servicio de Vigilancia del Medio Marino de Copernicus (CMEMS)

El Servicio Marino de Copernicus (o Servicio de Vigilancia del Medio Marino de Copernicus; CMEMS) es uno de los seis servicios que forman parte de Copernicus. CMEMS está operativo desde mayo de 2015 y es operado por Mercator Ocean.

CMEMS proporciona análisis y previsiones de última generación de parámetros oceanográficos (productos oceanográficos), que ofrecen una capacidad sin precedentes para observar, comprender y anticiparse a los acontecimientos del medio marino. CMEMS ofrece un acceso único a los productos oceanográficos a través de un catálogo en línea.

Estrategia implementada

Se pone como ejemplo el desarrollo de la herramienta de ayuda a la toma de decisiones S2S4E¹⁵, donde un equipo de industriales y académicos desarrolló un servicio de predicción en línea, la Herramienta de Ayuda a la Toma de Decisiones S2S4E (DST), que ofrece un servicio innovador para que el sector de las energías renovables sea resiliente ante el cambio climático y los fenómenos extremos. Este servicio está adaptado al sector energético e integra predicciones climáticas subestacionales de hasta 4 semanas con predicciones climáticas estacionales de hasta 3 meses.

¹⁵ <https://cordis.europa.eu/article/id/422471-forecasting-climate-conditions-for-cleaner-energy-production>

Las previsiones climáticas del S2S4E se basan en datos climáticos subestacionales y estacionales, que se posprocesan para mejorar su fiabilidad y producir indicadores energéticos útiles para el sector de las energías renovables. Las previsiones disponibles en la DST incluyen variables climáticas esenciales, como la temperatura, la lluvia, la velocidad del viento y la radiación solar; también se utilizan para producir previsiones de indicadores energéticos, como la demanda de energía debida a un uso intensivo de los sistemas de aire acondicionado para la refrigeración durante una ola de calor.



Figura 3.5: Interfaz del S2S4E. Fuente: <https://s2s4e-dst.bsc.es>

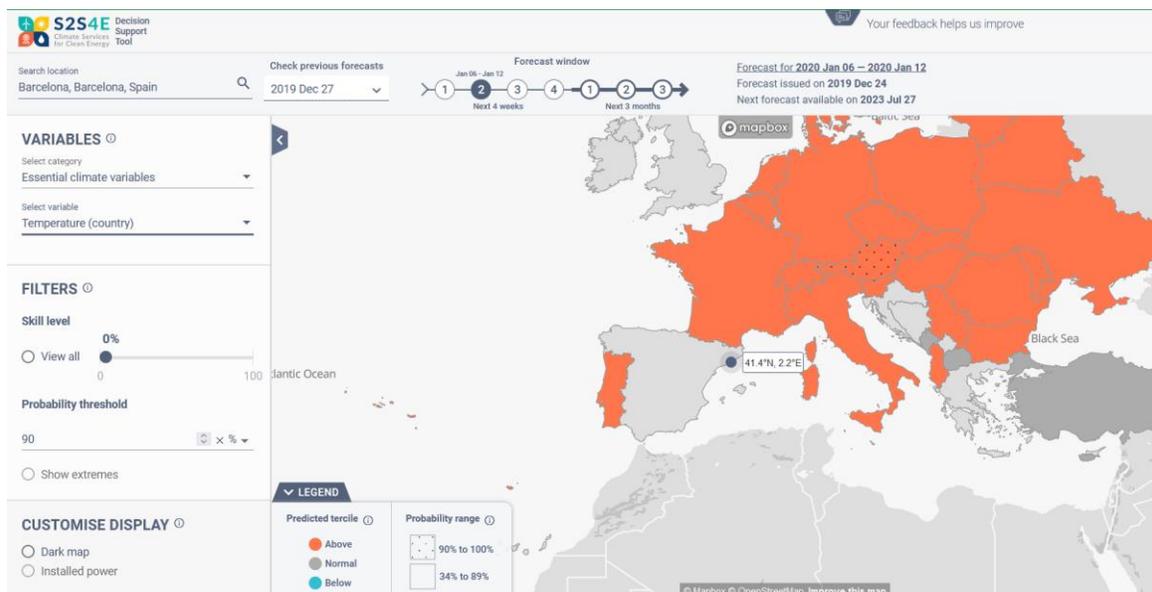


Figura 3.6: Resultado de proyección de temperaturas en Europa del S2S4E. Fuente: <https://s2s4e-dst.bsc.es>



Relación con sector energético e implementación en Chile

Las herramientas de planificación energética a nivel nacional no incorporan la variable territorial de manera sistemática, en parte porque no se dispone de la información georeferenciada actualizada a la temporalidad necesaria y porque no se han diseñado con el alcance, resultados y métricas e indicadores basados en este enfoque.

La disponibilidad del sistema de imágenes satelitales Copernicus¹⁶ abre una oportunidad muy auspiciosa de poder contar con esta información de manera sistemática y procesarla adecuadamente para usarla en la planificación de recursos energéticos y otras variables requeridas en la planificación para la transición energética a nivel nacional y local.

En Chile existe una iniciativa promovida por diversas instituciones de investigación a nivel nacional para implementar un sistema integrado de observación del océano, participativo y preventivo que permita mejorar la alerta temprana (SIOOC, Farias et al. 2019).

El SIOOC debe incorporar un componente de observación que posea instrumental automatizado in situ, con un análisis de su priorización primaria o secundaria, que incluya boyas oceanográficas, boyas de oleaje profundo y costero, radares de medición de corrientes marinas, mareógrafos, correntómetros, estaciones meteorológicas costeras, entre otros.

Este tipo de herramientas permite mejorar los sistemas de alerta temprana del país frente a eventos climáticos extremos, lo que puede entregar mayor resiliencia a la infraestructura energética relacionada con generación renovable (solar y eólica), transporte de combustible (puertos), entre otros.

3.5 Experiencias en soluciones basadas en la naturaleza

El Comité Científico de Cambio Climático elaboró el informe “Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)¹⁷, en el que se describen acciones concretas para que Chile implemente sus Contribuciones Nacionales Determinadas. De acuerdo con este informe, las SBN se definen como aquellas “acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que proporcionan beneficios para el desarrollo sustentable y la biodiversidad”. Este sentido, las SBN pueden contribuir como acciones de mitigación de gases de efecto invernadero y opciones de adaptación al cambio climático.

Entre las SBN más importantes se destacan aquellas relacionadas con la protección, restauración y manejo de ecosistemas de bosques; restaurar y proteger los humedales; la utilización de infraestructura verde; la reutilización de aguas lluvias, y la reforestación en ciudades, entre otros. La protección y restauración de bosques de algas pardas tendría efectos en la adaptación frente a eventos climáticos extremos como marejadas y oleaje. La utilización

¹⁶ <https://copernicus-chile.cl/acerca/>

¹⁷ <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Informe-SB-borrador.pdf>

de techos verdes puede contribuir a la retención de aguas lluvias y reducir el exceso de temperatura producto del cambio climático.

En publicaciones académicas¹⁸, se hace una revisión de los distintos sistemas de retención de aguas pluviales como SBN y su impacto en la adaptación de la infraestructura de ciudades. Entre los sistemas se destacan los techos verdes, los sistemas de bioretención (jardines de lluvia), franjas de amortiguación y filtrado, canales de drenaje, construcción de humedales y los pavimentos permeables al agua. El objetivo principal de los sistemas de gestión de aguas pluviales urbanas es controlar los volúmenes de la escorrentía superficial y, por lo tanto, reducir el riesgo de inundaciones durante eventos de lluvia intensa. Si bien este artículo no hace alusión directa al impacto de estas medidas sobre la infraestructura energética, se puede inferir que el control de aguas pluviales tiene un impacto directo en reducir la exposición de los hogares a cortes de electricidad debido a la inundación de viviendas y calles.

Asimismo, el hecho de contar con calles despejadas facilita el accionar de las cuadrillas a cargo de restablecer el corte de suministro debido a los fuertes vientos, caídas de árboles, etc. En términos generales, en (C40, 2023)¹⁹ se plantea que las SBN pueden ayudar a mitigar los siguientes fenómenos climáticos: 1) calor extremo; 2) inundaciones (como las soluciones descritas anteriormente); 3) sequía y falta de agua; 4) incendios forestales; 5) inundaciones costeras y aumento del nivel del mar.

De acuerdo con la revisión de experiencias internacionales, ha sido difícil encontrar experiencias que aborden las SBN como una solución exclusiva a la adaptación del sector energético. Lo anterior se debe a que las SBN se presentan como una solución general a los problemas de adaptación que sufren las ciudades, lo cual va más allá del impacto en el sector energía. A raíz de lo anterior, la siguiente tabla muestra un análisis hecho por el equipo consultor donde se identifica el impacto que podrían tener las SBN para la adaptación del sector energético.

Tabla 3.6: Fenómeno climático e impacto en infraestructura energética.

Fenómeno climático	SBN (C40, 2013)	Impacto en el sector energía (Fuente: Elaboración propia.)
Calor extremo	Uso de árboles y la vegetación para proporcionar evapotranspiración y sombra, lo cual da como resultado	Aumento de demanda eléctrica producto de aumento de usos de artefactos eléctricos para acondicionamiento térmico. Riesgo de falla de líneas de transmisión producto de longitud de la línea de transmisión (flecha). Disminución de capacidad de transmisión de líneas y su impacto en el abastecimiento eléctrico.

¹⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772411522000301>

¹⁹ https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Nature-based-solutions-How-cities-can-use-nature-to-manage-climate-risks?language=en_US

Fenómeno climático	SBN (C40, 2013)	Impacto en el sector energía (Fuente: Elaboración propia.)
Inundaciones	Sistemas de retención de aguas pluviales, ver (Kõiv-Vainik,2022)	Riesgo de inundaciones de infraestructura eléctrica y aumento de indisponibilidad de esta infraestructura. Corte de suministro de viviendas, comercio e industria debido a inundación de instalaciones y el riesgo asociado. Dificultades para operar de cuadrillas encargadas de restablecer el suministro eléctrico.
Sequía y falta de agua	Árboles, vegetación, superficies permeables naturales y cuerpos de agua ayudan a que los acuíferos subterráneos se recarguen mediante la infiltración y almacenen agua localmente.	Aumento de demanda eléctrica debido al desarrollo de plantas de desalinización. Falta de agua para operar centrales termoeléctricas.
Incendios forestales	Uso de especies menos inflamables, resistentes al fuego y retardantes del fuego podrían reducir la probabilidad y la intensidad de los incendios forestales.	Impacto sobre líneas y redes de distribución eléctrica. Disminución de demanda eléctrica debido a viviendas, comercio e industrias siniestradas
Inundaciones costeras y aumento del nivel del mar	Humedales costeros, manglares y amortiguadores de dunas de arena estabilizados por la vegetación. Soluciones en alta mar como arrecifes de coral, bahías de ostras y otras barreras naturales, ayudan a prevenir la erosión costera y ralentizar el movimiento del agua.	Impacto sobre la infraestructura energética ubicada en zonas costeras (centrales, terminales de regasificación, línea de transmisión, etc.). Disminución de demanda eléctrica debido a viviendas, comercio e industrias siniestradas

3.5.1 Uso de SBN en la central hidroeléctrica Binacional de Itaipú

Contexto y definiciones

La central hidroeléctrica Itaipú Binacional es una de las mayores y más importantes represas hidroeléctricas del mundo, ubicada en la frontera entre Paraguay y Brasil. Fue construida sobre el río Paraná, específicamente en el tramo compartido entre los dos países, y su operación es gestionada de forma conjunta por ambas naciones.

La central hidroeléctrica de Itaipú tiene una capacidad instalada de aproximadamente 14.000 MW, lo que la convierte en una fuente clave de energía para ambas naciones.

Itaipú Binacional integra SBN en sus diseños para generar energía eléctrica a partir de centrales hidroeléctricas en Brasil y Paraguay. Han demostrado que el amortiguador forestal protegido y restaurado proporciona una serie de beneficios para el funcionamiento de la presa, así como para las comunidades locales y la vida silvestre.

Estrategia implementada

Para garantizar la resistencia de la presa, Itaipú Binacional ha plantado más de 44 millones de árboles en la zona de propiedad de la empresa alrededor de la central, reforestando, restaurando y conservando 101.000 ha de tierra y 421 microcuencas.

La central hidroeléctrica produce el 90% de la electricidad de Paraguay y el 16% de la de Brasil. Los bosques y ecosistemas naturales garantizan un bajo nivel de sedimentos en el embalse, lo que evita daños a las gigantescas turbinas.

Un análisis de costo-beneficio del programa de Reservas de Itaipú determinó que proporcionaba un valor actual neto de 45.000.000 de dólares, basándose únicamente en los beneficios financieros directos.

La presa de Itaipú es un ejemplo de cómo pueden aplicarse soluciones de diseño sostenibles y resilientes a gran escala, conservando y regenerando la biodiversidad. conservar y regenerar el entorno natural, gestionar los efectos del cambio climático y, al mismo los efectos del cambio climático y, al mismo tiempo, demostrar la viabilidad financiera y ofrecer mayores beneficios a las comunidades y al medio ambiente.



Figura 3.7: Represa de Itaipú. Fuente: <https://www.itaipu.gov.br/en/press-office/photos>

Relación con sector energético e implementación en Chile

Las centrales hidroeléctricas de embalse constituyen la base renovable del Sistema Eléctrico Nacional, permitiendo el almacenamiento natural de energía en periodos de tiempo de días, meses e incluso entre años, según su tamaño.

En el DS N°29 de marzo de 2022, que modifica decreto supremo N°51 de 2021 según lo dispuesto en el artículo 163° de la Ley General de Servicios Eléctricos, se tiene que:

“Con el objeto de disminuir, manejar o superar el déficit de generación eléctrica, el Coordinador deberá coordinar la operación de las centrales hidroeléctricas de embalse de tal forma que se garantice la existencia en todo momento de una reserva hídrica efectivamente disponible, equivalente a 650 GWh, a ser dispuestos para paliar el déficit proyectado, considerando las restricciones técnicas y operacionales de cada embalse y procurando que la acumulación de la reserva hídrica minimice la probabilidad de vertimientos futuros en embalses estacionales y que no comprometa la seguridad de abastecimiento del Sistema Eléctrico Nacional.” Luego, se tiene una operación coordinada del recurso, evitando el agotamiento de las reservas hídricas. La escasez hídrica constituye un riesgo a la seguridad operacional y la gestión de los recursos energéticos, incluyendo el uso de combustibles fósiles.

Soluciones basadas en la naturaleza como la implementada en la central hidroeléctrica de Itaipú permitirían resguardar el recurso hídrico tanto a nivel de embalse, como en los afluentes que lo alimentan, al disminuir la sequía del suelo, formación de sedimentos y filtraciones.

Su implementación deberá considerar los planos reguladores y permisos ambientales, planteando proyectos que consideren la biodiversidad existente, plantaciones nativas y coordinación con las comunidades cercanas.

3.5.2 Caso de SBN: Infraestructura verde para enfrentar el fenómeno de las Islas de Calor Urbanas

Contexto y definiciones

En las últimas décadas se experimenta un acelerado proceso de urbanización a nivel mundial. El crecimiento urbano se caracteriza por un reemplazo de coberturas naturales y semi-naturales por usos de suelo altamente artificializados. Lo anterior actúa modificando las condiciones ambientales anteriores, lo que, entre otras cosas, genera la formación de un clima diferente, conocido como clima urbano, definido por la diferencia de temperatura entre la ciudad y su entorno. El clima urbano y la isla de calor que lo caracteriza, tienen efectos sobre la salud de la población, el confort térmico, la demanda energética para refrigeración, entre otros.

El estudio de los climas urbanos ha atraído una atención creciente a medida que más población del mundo vive en ciudades y, por lo tanto, se ve afectada por las condiciones atmosféricas generadas en estas áreas. La formación de islas de calor urbano (ICU) es una de las características principales de un clima urbano. Estas se definen como la diferencia en el gradiente térmico entre las áreas urbanas y sus alrededores, donde la ciudad es comparativamente más cálida, entre 2 y 8°C. Los factores que hacen que las ciudades sean más cálidas y, por lo tanto, conducen al desarrollo de las ICU son, entre otros, la falta de humedad, la admisión térmica en los elementos de la superficie urbana, la geometría urbana, la impermeabilización del suelo, la altitud y posición topográfica (FAU, 2022).

Entre estos factores, la presencia de superficies con vegetación es decisiva para mitigar la ICU, controlar la contaminación y producir efectos de sombra, que pueden enfriar el aire y reducir las velocidades del viento en un 10-30%. La importancia de este factor y su participación en la reducción de la temperatura del aire han sido demostrados en investigaciones realizadas en Chile, en las ciudades de Santiago, Valparaíso y Chillán. Un estudio desarrollado en Singapur ha determinado que la diferencia máxima de las temperaturas entre un área verde densa y las construcciones de la Universidad a las 13:00 horas alcanza alrededor de 4°C. A la medianoche, la diferencia de temperaturas entre estas dos posiciones es aproximadamente 3°C (FAU, 2022).

Entre los efectos del cambio climático más recurrentemente mencionados por la literatura, está la variación y más específicamente, el aumento de las temperaturas anuales promedio, cambios en las tasas de precipitación, tormentas, aumento del nivel del mar, eventos extremos de calor, asociados a olas de calor y períodos extendidos de sequía, con veranos más largos y secos. Asociados a estos efectos, los principales problemas que habría que enfrentar en un entorno urbano serían el aumento de riesgo de tormentas, inundaciones, deslizamientos, olas de calor, sequía y una sobrecarga sobre sistemas de energía, drenaje y agua.

Las estrategias y planes de acción diseñados para enfrentar el cambio climático en las ciudades priorizan la mitigación, vinculándola principalmente a medidas de infraestructura urbana. Sin embargo, el cambio climático proporciona tiempo suficiente para que las comunidades y países dirijan sus esfuerzos hacia la adaptación.

La literatura en torno al estudio del clima coincide en señalar que su comportamiento influye de manera directa o indirecta sobre la salud humana, el confort, la calidad de vida, la eficiencia



y mantenimiento de los edificios, el uso de los espacios públicos, entre otros aspectos. De ahí, la importancia de considerar el clima en la planificación urbana para contar con ciudades más sustentables y generar condiciones de mayor confort para sus habitantes.

El aumento de la temperatura provoca condiciones de desconfort tanto al interior de las edificaciones, como en los espacios exteriores. El confort térmico al interior de las edificaciones se encuentra controlado por sistemas de acondicionamiento climático que han evolucionado desde un uso intensivo de recursos energéticos fósiles, con una incorporación de recursos energéticos renovables, ambos denominados sistemas activos, hasta avanzar al uso de estrategias de diseño que funcionan de manera natural, sistemas pasivos, en que se aprovechan sombras, colores, entre otros elementos arquitectónicos. Algunas investigaciones calculan que la demanda energética para enfriamiento se incrementa entre 2 y 4% por cada 1°C de aumento en la temperatura máxima diaria, por sobre un umbral entre los 15°C y 20°C. Por su parte, según las estimaciones del Departamento de Energía de los Estados Unidos, se gastan 10 mil millones de dólares anuales en energía para refrigeración para aliviar el efecto de isla de calor (FAU, 2022).

La planificación urbana, a través del diseño urbano y la asignación del uso de la tierra, afecta la dinámica y los patrones del clima urbano en diferentes capas atmosféricas y escalas espaciales. En la actualidad no existen muchas evidencias respecto de la sensibilidad a las condiciones ambientales y menos aún al clima en la construcción de la ciudad. La evidencia bibliográfica da cuenta de que los instrumentos de planificación se basan principalmente en paradigmas estético-formales y funcionales que no han sido capaces de incorporar la complejidad de los climas urbanos.

De los cuatro enfoques más comúnmente sugeridos para gestionar el desafío de las islas de calor urbanas -aumentar la reflectividad de las superficies urbanas, cambiar la morfología urbana para permitir una mayor ventilación nocturna, el uso de vegetación y el uso de masas de agua- dos requieren una intervención activa en forma de SBN (Aram et al. 2019; véase también Calfapietra, 2020). De hecho, tales enfoques son alentados activamente por la Estrategia de la UE para la Calefacción y la Refrigeración (COM/2016/051), que sugiere que "las soluciones basadas en la naturaleza, como la vegetación bien diseñada en las calles, los techos y paredes verdes que proporcionan aislamiento y sombra a los edificios también reducen la demanda de energía al limitar la necesidad de calefacción y refrigeración.

Las SBN urbanas para enfriar la ciudad no solo se encuentran en los espacios verdes, sino también a través de intervenciones destinadas a enfriar calles o espacios abiertos específicos de la ciudad. En su análisis del efecto de la plantación de árboles en calles y plazas públicas, Nature4Cities (<https://www.nature4cities.eu/>) descubrió que los árboles pueden mitigar el estrés térmico de forma más eficaz que velas solares de poca altura, instaladas justo encima de la cabeza de los peatones. En el periodo de 9:00-16:00, la reducción media de la temperatura fisiológica equivalente (PET) por los árboles y las velas solares bajas fue de 9,0 °C y 5,8 °C respectivamente. El análisis sugiere que, dado que el sombreado en calles y plazas puede ser proporcionado por otros edificios, los espacios urbanos más importantes para intervenciones de este tipo son aquellos que no reciben sombra de esta forma, "aceras orientadas al SE, S y SO", donde el uso de SBN para proporcionar sombra de árboles tendrá una importancia particularmente alta. Al evaluar los efectos relativos de las diferentes NBS urbanas en términos

de su potencial para enfriar el aire, NATURVATION (<https://naturvation.eu/>) encuentra que las zonas azules son un orden de 2 a 3 veces más efectivas que los parques urbanos, y que las zonas verdes conectadas a la infraestructura gris (como los árboles de la calle) también producen un importante efecto de enfriamiento en la ciudad (ver Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Contribución relativa de las SBN en distintos ámbitos urbanos para el enfriamiento del aire. Fuente: Naturvation.

Solución Basada en la Naturaleza	Puntuación	Valor Medio (°C)
Parques y zonas verdes urbanas (semi)naturales	2	0,94 (IC 95% de media = 0,71-1,16)
Zonas verdes urbanas conectadas a infraestructuras grises	3	1,6 (0,43 - 3,06)
Zonas azules	5	3,1 (1,6 - 5,2)
Zonas verdes exteriores de edificios	2	1,1 (0,03 - 3,0)
Huertos y jardines comunitarios	Sin puntuación	No se han encontrado valores
Zonas verdes para la gestión del agua	Sin puntuación	No se han encontrado valores

Además de enfriar la ciudad y reducir el impacto de la ICU, las SBN pueden utilizarse directamente para reducir la demanda de energía en el entorno construido. Al regular las necesidades térmicas de los edificios, las cubiertas techos y fachadas verdes pueden proporcionar un medio eficaz a través del cual reducir la demanda de energía. Un estudio reciente sobre el potencial de estas SBN para reducir la demanda energética en el entorno construido ha revelado que tanto los tejados como las fachadas verdes proporcionan un aislamiento muy eficaz a los edificios: los tejados reducen la penetración del calor hasta en un 80% en algunos casos, de modo que los edificios con tejados verdes consumen entre un 2 y un 17% menos de energía que sus homólogos, y que las superficies verdes en general pueden reducir la demanda energética de los edificios entre un 10 y un 30% (Besir y Cuce, 2018: 936).

Uno de los casos más relevantes y mejor documentados a nivel internacional es la iniciativa de Vitoria-Gasteiz (España) iniciada con el Proyecto de Anillo Verde, cuyo objetivo fue proyectar espacios libres y parques periféricos de gran rusticidad, promoviendo así progresivamente un modelo del verde más naturalizado y claramente dissociado de los convencionales parques de estilo anglosajón imperantes. Se quería promocionar, además, mecanismos de mantenimiento y gestión sostenible o «diferenciada» de los espacios verdes. Para lograr este objetivo, se hacía imprescindible incidir en las etapas previas de planificación (Diputación de Barcelona, 2019).

La atención a estos parámetros en las etapas iniciales de los procesos de desarrollo o renovación urbana incrementa notablemente el potencial para mejorar o crear hábitats con un fuerte componente naturalístico y permite aplicar técnicas innovadoras de construcción, como muros o tejados verdes, sistemas de evacuación y drenaje con alto aprovechamiento y reciclaje de agua, suelos permeables y con altos índices bióticos, entre otros, que aporten calidad al paisaje urbano pero también ahorro energético, fijación de contaminantes, gestión eficiente del agua, con el añadido de proporcionar refugio o alimento a muchas especies animales.



La idea del Anillo Verde suponía dar una solución global a los problemas de la periferia urbana de Vitoria-Gasteiz y al estado de degradación general que la zona presentaba, mediante un proyecto integral de recuperación ecológica y paisajística. Se presentaban paisajes muy alterados, con altos grados de contaminación y, consiguientemente, unas condiciones ecológicas muy pobres y de alta precariedad e inseguridad para la estancia, el paseo o el uso público general, llegando a ser una barrera física y también social entre el entorno urbano y el medio rural adyacente.

Estrategia implementada

Se proyectó crear una red interconectada de espacios verdes periurbanos, mediante el aprovechamiento, restauración y puesta en valor de las áreas degradadas de titularidad pública existentes en los bordes de la ciudad. Los objetivos que se plantearon fueron:

- Promover la conservación de los enclaves naturales periurbanos y la restauración ecológica de otros espacios periféricos recuperables, creando un continuo natural en torno a la ciudad.
- Integrar los parques periurbanos en la trama urbana, conectándolos al mismo tiempo con el entorno natural, mejorando de esa manera la accesibilidad física y ecológica entre las zonas verdes urbanas y espacios naturales del municipio.
- Acondicionar los espacios periurbanos para fomentar el uso público en ellos, contribuyendo a satisfacer la demanda ciudadana de lugares de ocio al aire libre y amortiguando, al mismo tiempo, la presión sobre otros espacios naturales más frágiles.
- Aprovechar la recuperación y el acondicionamiento de los nuevos espacios para promover la sensibilización y la educación ambiental con la pretensión última de implicar a la ciudadanía en su conservación.

Los criterios utilizados tanto en los trabajos de gestión y mantenimiento vegetal del espacio como en el diseño de las infraestructuras y equipamientos persiguen la ecoeficiencia, la economía de recursos, la adaptación al paisaje y a la morfología del lugar, la funcionalidad para el uso público, entre otros. Así, se ha dotado a los parques del Anillo Verde de unas características propias: carecen prácticamente de iluminación artificial, los cimientos son principalmente de tierra, los puntos de recolección de basuras, información, estacionamientos y fuentes se asocian exclusivamente a las entradas a los parques y franjas de contacto con la ciudad y se ha pre tendido, en definitiva, eliminar el carácter de parque urbano para invitar al usuario a adoptar una actitud de adaptación y respeto hacia la naturaleza. En este mismo sentido es preciso indicar que los parques del anillo no se riegan, no hay aporte de biocidas y todos los residuos vegetales producidos son compostados in situ.

El proyecto ha tenido importantes beneficios ambientales y sociales, asociados a la recuperación de biodiversidad, protección de humedales, educación ambiental, empleos verdes, entre otros.

Desde lo económico, además de los atractivos turísticos para la ciudad, contribuyendo poderosamente a reforzar su imagen verde, se observa la revalorización experimentada por las zonas residenciales contiguas a los nuevos parques, solución de un problema de inundación en una zona industrial de la ciudad, además de la valoración de los servicios ecosistémicos prestados por la naturaleza y consecuentemente a los beneficios que esta aporta.



Figura 3.8: Sistema de Infraestructura Verde Urbana Multifunción de Vitoria-Gasteiz (SIVU). Fuente: Diputación de Barcelona (2019)

El concepto ha evolucionado hacia una iniciativa de Infraestructura Verde Urbana, que proporciona sustanciales mejoras en el funcionamiento ecológico del sistema urbano, y además, beneficios relacionados con la salud de las personas, como un aire limpio, una mejor calidad del agua y un ambiente urbano saludable y que mejora la habitabilidad de los lugares donde vivir y trabajar. Destacan iniciativas como los jardines comunitarios y huertos urbanos, que promueven la conexión entre la producción y el consumo local de alimentos.

Relación con sector energético e implementación en Chile

Actualmente, Chile cuenta con un 89% de población urbana y existen 350 Municipalidades en el país que, de acuerdo con la experiencia de Adapt Chile, destinan miles de millones de pesos en acciones relacionadas con la planificación y mejora del entorno urbano (áreas verdes, agua para riego, mantención de mobiliario urbano, entre otros) (Adapt Chile, 2020). La sola consideración de medidas de planificación urbana por medio de SBN permitiría reducir este gasto anual, lo que podría significar un ahorro de varios millones de dólares al año. Si bien no existen datos para cuantificar estos ahorros, existen algunos ejemplos que podrían vislumbrar estos impactos.

En el caso de la Municipalidad de Providencia, recientemente se ha propuesto reemplazar 50.835 metros cuadrados del pasto existente en la comuna (6,7% del total de áreas verdes de la comuna), principalmente el que se encuentra en veredones, bandejones centrales y sectores en plazas y parques, donde la gente no ocupa el césped y sólo es de ornamentación. En su lugar se plantarán especies sustentables, que requieren bajo consumo hídrico y que son resistentes a las altas temperaturas y a períodos de sequías. Ello permitirá ahorrar un 78% del agua de riego

para dichos sectores, equivalente a 10.705 metros cúbicos de agua al mes (del orden de USD 15.000 por mes).

De la misma forma, este tipo de medidas redundan en una mejor condición del clima urbano (fenómeno de isla de calor) lo que permitiría ahorrar importantes recursos monetarios al sector Comercial, Público y Residencial en su consumo asociado a climatización. Por ejemplo, como consecuencia del mayor aumento de las temperaturas promedio se espera un fuerte aumento en la adquisición de sistemas de aire acondicionados en los hogares, lo que sumado al aumento en el ingreso per cápita, generará una mayor penetración de sistemas, con lo que se aumentará la demanda energética por climatización en meses de calor (frío). En GIZ (2023), para el escenario RCP 8.5 la demanda energética asociada a la climatización se duplicará respecto a la demanda de los escenarios sin consideraciones de cambio climático.

En EBP Chile, et al (2017) se estima el gasto promedio mensual de un grupo de hogares en la comuna de Renca. Ello se presenta en la figura siguiente.

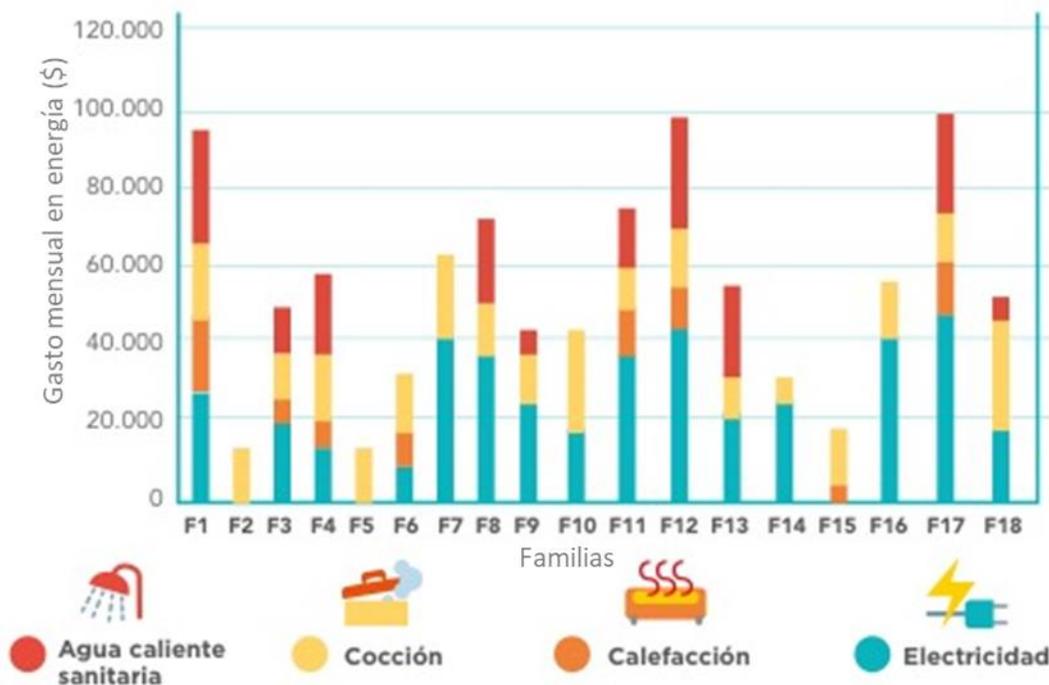


Figura 3.9: Gasto mensual promedio por hogar en energía (\$). Fuente: EBP Chile, et al (2017)

Del estudio se desprende que el gasto mensual promedio por hogar en energía es de \$61.343 y se podrían conseguir ahorros de hasta un 50% en calefacción con medidas relacionadas al mejor desempeño energético. Por otro lado, en un estudio desarrollado por el Ministerio de Energía, se estima que el gasto en calefacción de una vivienda promedio en la RM es del orden de \$250.000, por lo que el ahorro potencial es de hasta \$125.000 al año.

Como comparación, la inversión que se requiere para lograr mejoras en el clima urbano de las localidades es menor a USD 50.000, considerando los estudios para definir la línea base y las medidas específicas que se implementen (tales como modificación del albedo, intervenciones



en la cubierta de vegetación e impermeabilización del suelo, cambios en la altura y densidad de construcción en las nuevas edificaciones).

3.6 Síntesis de experiencia internacional

En una primera mirada respecto a la revisión de la experiencia internacional se puede observar que no existen muchos casos reportados en la literatura respecto a iniciativas exitosas relacionadas con infraestructura energética resiliente implementados o en desarrollo. Esta brecha es mayor si se analiza el sector energético no eléctrico.

Se ha privilegiado revisar casos en los que se puedan aplicar soluciones a infraestructura existente, ya que en nuestro país la mayoría de los requerimientos corresponde a esta situación. Dentro de los casos revisados se destaca la mejora de la resistencia a las inundaciones mediante la construcción de muros contra inundaciones en subestaciones, la mejora de estándares de diseño para las líneas aéreas, una solución más barata que las líneas soterradas y que se ha estado implementando en países desarrollados y la mejora en el diseño de centrales hidroeléctricas para el manejo de descarga de caudales y aluviones en periodos de precipitaciones extremas.

Respecto a las SBN, en general se han encontrado muy pocos casos específicos reportados que se relacionen de manera directa con el sector eléctrico, si no que más bien medidas relacionadas con la protección, restauración y manejo de ecosistemas de bosques; de humedales; la utilización de infraestructura verde; la reutilización de aguas lluvias, y la reforestación en ciudades, entre otros.

En este sentido, dado que el uso de infraestructura verde en las ciudades posee muchas externalidades positivas, adicionales al efecto en el contexto energético, se han presentado los principales beneficios y un ejemplo emblemático de España para ejemplificar el tipo de desarrollos que se pueden llevar a cabo.

4 Perfeccionamiento de la regulación nacional

La política energética nacional, vigente desde 2022, considera los objetivos y metas de resiliencia al más alto nivel de prioridad, acuñando el término y tratándolo como un concepto separado, a la par con los de confiabilidad y calidad de suministro. En conjunto estos conforman uno de los dos pilares fundamentales de la política. En términos más específicos establece que al 2030 la regulación, planificación y normativa energética, incluyendo los sectores de electricidad y combustibles, incorporan explícitamente la resiliencia y adaptación al cambio climático.

En las siguientes secciones se revisa la normativa energética eléctrica y de combustibles bajo la perspectiva de la resiliencia de la infraestructura.

4.1 Revisión de normativa nacional

4.1.1 Normativa eléctrica

El diseño básico del mercado eléctrico chileno tiene su origen en el DFL1 de 1982 “Ley General de Servicios Eléctricos” (LGSE). Este construye un esquema de precios de energía y potencia que deben ser pagados por los consumidores a los productores. Sobre un mercado de corto plazo de tipo pool obligatorio con costos de generación auditados y un mercado mayorista de tipo spot (horario), cerrado a los generadores, las ventas de energía y potencia son percibidas como ingresos de las unidades de generación. En el mercado mayorista, de acuerdo con compromisos contractuales de abastecimiento, se realizan las transferencias de energía y potencia entre empresas generadoras. Sobre éste pivotan contratos de suministro de largo plazo entre generadores y consumidores, los que se desarrollan en el contexto de un mercado que distingue entre clientes libres y regulados. Mientras los primeros se contraen sin supervisión del regulador, en la forma de contratos sobre el mostrador, en los segundos el regulador interviene directamente en representación de clientes pequeños a medianos y establece las condiciones.

En el mercado eléctrico chileno se distinguen tres segmentos: generación, transmisión y distribución. El de generación eléctrica es libre y de naturaleza competitiva, donde los inversionistas desarrollan plantas generadoras según criterios privados y a su riesgo. Por su parte el segmento de transmisión es mixto, siendo la principal parte regulada (sistemas nacional y zonal) y libre (dedicado). Finalmente, el segmento de distribución es un monopolio geográfico regulado, tarifado vía esquema de empresa modelo.

Dada la gran intersección entre los conceptos de resiliencia y adaptación con los de confiabilidad de los sistemas eléctricos, descompuesto entre seguridad y suficiencia, se revisa la LGSE con el objeto de identificar aquellos artículos que traten sobre seguridad y calidad de suministro. Se identifican los siguientes:

- Artículo 72°-1.- Principios de la Coordinación de la Operación (“Preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico...”);
- Artículo 72°-6.- Seguridad del Sistema Eléctrico (“El Coordinador deberá exigir a los coordinados el cumplimiento de la normativa técnica... SCCC y calidad...”);
- Artículo 72°-7.- Servicios Complementarios.
- Artículo 72°-12.- Coordinación de los Intercambios Internacionales de Energía;

- Artículo 72°-15.- Del Desempeño del Sistema de Eléctrico y de los niveles de Seguridad de Servicio (“...reportes de desempeño...”);
- Artículo 72°-18.- Retiro, modificación y desconexión de instalaciones;
- Artículo 72°-19.- Normas Técnicas para el funcionamiento de los sistemas eléctricos;
- Artículo 72°-21.- Decreto de Emergencia Energética;
- Artículo 74°.- Definición de Sistema de Transmisión Nacional;
- Artículo 78°.- Definición de Sistema de Interconexión Internacional;
- Artículo 80°.- Acceso Abierto en los Sistemas de Transmisión Dedicados;
- Artículo 82°.- Intercambio Internacional de Servicios Eléctricos;
- Artículo 87°.- Planificación de la Transmisión;
- Artículo 89°.- Obras Nuevas y Obras de Ampliación de los Sistemas de Transmisión;
- Artículo 131° bis.- (Comisión y licitaciones);
- Artículo 133°.- Las exigencias de seguridad y calidad de servicio que se establezcan para cada licitación...;
- Artículo 146° ter.- El procedimiento concursal de liquidación de una empresa generadora, transmisora o distribuidora de electricidad...;
- Artículo 149°.- (...transferencias de energía entre empresas eléctricas... energía y potencia, valorización, suficiencia, ...);
- Artículo 170°.- precios de nudo y porcentaje de los mayores costos por planes de seguridad de abastecimiento...;
- Artículo 183°.- (áreas típicas de distribución, estudios de costo y estándares de seguridad y calidad...);
- Artículo 225°.- (definiciones, confiabilidad, suficiencia, seguridad de servicio,...).

La LGSE es implementada y complementada actualmente por múltiples reglamentos y normas que se han ido anexando y modificando desde la dictación de su primer reglamento.

Los cuadros Tabla 4.1 y Tabla 4.2 sintetizan una revisión general de reglamentos y normas vigentes que se estima deberán ser revisadas y adaptadas, con mayor o menor grado de énfasis o esfuerzo, a los nuevos objetivos de resiliencia climática. Esto puede traducirse en modificaciones a las exigencias tanto en características deseables de la infraestructura en sí misma como en la forma de planificar el conjunto en inversiones y operación. Por ello, una gran parte de los reglamentos y normas del sector eléctrico vigentes caen en este listado. En la primera columna de la Tabla 4.1 se indica con un ícono gráfico una estimación del grado en que la resiliencia resulta atingente al cuerpo legal respectivo, a criterio del equipo consultor. Como primera aproximación se encuentra la noción de si la temática corresponde a confiabilidad, ya sea de la operación o de la infraestructura, lo cual se señala en la columna de comentarios.

Tabla 4.1: Reglamentos sector eléctrico y necesidad de adecuación por resiliencia climática.

F	# DS	Fecha / Modif	Documento (Reglamento)	Materia	Comentarios
	37	05-2019	Sistemas de transmisión y de la planificación de la transmisión	Planificación Tx	Instalaciones, estándares y criterios de evaluación de planificación, confiabilidad
	113	11-2017	Servicios Complementarios LGSE	SSCC	Criterios operacionales, instalaciones, confiabilidad
	67	07-2017	Modifica DS106/2015-Energía, Reglamento sobre licitaciones de suministro de clientes regulados en Dx	Licitaciones	Estándares de suficiencia de suministro
	106	10-2015	Licitaciones de Suministro de Energía para Satisfacer el Consumo de los Clientes Regulados en Dx	Licitaciones	Estándares de suficiencia de suministro
	29	03-2014	Licitaciones para la Provisión de Bloques Anuales de Energía Provenientes de Medios de ERNC [Regl. Ley 20.698 (20/25)]	Licitaciones	Estándares de suficiencia de suministro
	31	03-2017	Determinación y pago de las compensaciones por indisponibilidad de suministro eléctrico	Compensaciones	Estándares de suficiencia de suministro
	142	11-2016	Requisitos/procedimiento solicitudes de intercambios internacionales de servicios eléctricos	Intercambios Internacional	Estándares de suficiencia de suministro, confiabilidad
	134	10-2016	Planificación energética de largo plazo	Planificación Tx	Instalaciones, directrices, estándares y criterios de evaluación en planificación, confiabilidad
	128	09-2016	Centrales de bombeo sin variabilidad hidrológica [Reglamento centrales de bombeo]	Almacenamiento	Instalaciones, Suficiencia, Flexibilidad, Pago por capacidad
	68	06-2015	Modifica DS86/2012-Energía, Reglamento para la fijación de precios de nudo	Precios de Nudo	Estándares de suficiencia de suministro y su efecto en tarifas
	6	01-2015	Exigencias para instalaciones de cogeneración eficiente	Cogeneración	Instalaciones
	38	04-2012	Medidas para Evitar, Reducir y Administrar Déficit de Energía Art.163 LGSE	Compensaciones	Estándares de suficiencia de suministro
	23	03-2015	Operación y administración de los sistemas medianos establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos [Reglamento sistemas medianos]	General	Criterios operacionales, instalaciones, confiabilidad
	62/2006	06-2020	Transferencias de Potencia entre Empresas Generadoras	Potencia de Suficiencia	Instalaciones, Suficiencia, Flexibilidad, Pago por capacidad
	88	09-2019	Medios de generación de pequeña escala (Deroga 244)	PMG(D)	Instalaciones, criterios operacionales, confiabilidad
	57	07-2019	Generación distribuida para autoconsumo	GD, NetBilling	Instalaciones, criterios operacionales, confiabilidad
	125	12-2017	Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional.	Coordinación Operación, Mercados E/P/SSCC	Normativa general, criterios fundamentales de coordinación, confiabilidad
	20	03-2015	Procedimiento para determinación de otros medios de generación ERNC	Fuentes de energía	Instalaciones
	33	03-2016	Modifica DS331/2009-Hacienda, franquicia tributaria de sistemas solares térmicos.	Fuentes de energía	Instalaciones, costos
	327/1997	06-2021	Reglamento de la ley general de servicios eléctricos	Reglamento general	Concesiones eléctricas, normativa general
	11	01-2017	Dictación de normas técnicas en aspectos técnicos, seguridad, coordinación, calidad, información y económicos...	Dictación de normas técnicas	Normativa general
	341	01-2018	Reglamento para la Fijación de Precios de Otros Servicios no Eléctricos	Servicios adicionales Dx	Instalaciones, costos
	8	01-2019	Seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica	Seguridad Instalaciones	Instalaciones
	109	11-2017	Seguridad de las instalaciones eléctricas destinadas a producción, transformación, transporte, servicios complementarios...	Seguridad Instalaciones	Instalaciones, limitación de responsabilidad
	44	04-2017	Panel de Expertos establecido en la LGSE	Institucionalidad	Competencia en materias de aplicación reglamentaria
	52	05-2016	del Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional	Institucionalidad	Competencia en materias de aplicación reglamentaria

Tabla 4.2: Normas eléctricas y necesidad de adecuación por resiliencia climática.

F	#REx	Fecha	Documento (Norma Técnica)
		01-09-2020	Seguridad y Calidad de Servicio (+21 Anexos Técnicos)
	763	10-12-2019	Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución (+1 Anexo Técnico)
	786	18-12-2019	Servicios Complementarios (+1 Anexo Técnico)
	196	28-04-2019	Presupuesto de Costos...Resolución Exenta CNE N° 164 de 2010 de CNE con normas para aplicación del art.148° del LGSE (Convenios de aumento/reducción carga clientes regulados)
	54	01-01-2016	Transferencias de Potencia entre Empresas Generadoras
	376	28-06-2019	Norma Técnica para la Programación y Coordinación de la Operación de Unidades que utilicen GNL
	179	14-03-2018	De Seguridad y Calidad De Servicio Para Sistemas Medianos
	437	30-07-2019	Conexión y Operación de PMGD en Instalaciones de Media Tensión
	338	31-05-2019	Conexión y Operación de Equipamiento de Generación en Baja Tensión
	1278	01-12-2009	Sobre Fuentes de Energías Renovables no Convencionales (norma Ley N° 20.257)
	72	05-03-2020	Reglas necesarias para la implementación del mecanismo de estabilización de precios establecido en la Ley N° 21.185
	885	24-10-2007	Procedimiento para determinación de cargos / abonos para consumidores regulados por diferencias entre el PNudo y CMg, aplicable a suministros sometidos a regulación de precios no cubiertos por contratos.

De todos los reglamentos señalados, los únicos en los que hay presencia de la noción de resiliencia, como algo separado de la confiabilidad y calidad de servicio, son los reglamentos asociados a la planificación energética nacional y de los sistemas de transmisión eléctrica. En ambos casos la mención es menor y no ha tenido consecuencias prácticas que se hayan logrado identificar. Por ejemplo, hasta la fecha no se han propuesto obras concretas por este concepto en la planificación de la transmisión hasta el proceso 2021. Por otro lado, la falta de precisión metodológica en criterios, estándares de evaluación, métricas y procedimientos han derivado que tanto el Coordinador como la Comisión usen mecanismos distintos de incorporación del concepto en sus propuestas de expansión, a veces de forma no uniforme, para finalmente descartar cualquier obra por este concepto. Por su parte, agentes del mercado eléctrico han puntualizado la necesidad de normar los criterios y metodologías.

4.1.2 Normativa de hidrocarburos.

El mercado nacional de combustibles de Chile es abastecido en base a un 51% de combustibles producidos por ENAP y un 49% de combustibles importados. Para producir los combustibles en sus refinerías ENAP importa el 98% del crudo procesado. De esta forma, Chile es un importador neto de combustibles, encontrándose en consecuencia, en una posición vulnerable frente a los diversos vaivenes de los mercados internacionales, así como a eventos que puedan causar interrupciones en el suministro de combustibles a nivel mundial. Por otra parte, nuestro país corre el riesgo de sufrir eventos naturales o bien fallas operacionales que puedan afectar el suministro de combustibles tanto a nivel nacional o como en macrozonas (DICTUC,2019).

En esta sección se describe parte de la normativa relativa a hidrocarburos en sus artículos relevantes para la resiliencia y adaptabilidad respecto al cambio climático. La descripción general de cada legislación fue obtenida en (GIZ, 2021).

4.1.2.1 Registro de Propietarios de Instalaciones de Combustibles DFL 1/1979 MINMINERÍA

Esta ley de 1979 establece un registro donde deberán inscribirse los propietarios de instalaciones que sirvan para la producción, importación, refinación, transporte, distribución, almacenamiento, abastecimiento, regasificación o que comercialicen combustibles derivados del petróleo, biocombustibles líquidos, gases licuados combustibles y todo fluido gaseoso combustible, como gas natural, gas de red y biogás.

En el **artículo 7** de la ley se menciona la obligatoriedad de mantener existencias mínimas del combustible: “Cada productor o importador de combustibles líquidos derivados del petróleo tendrá la obligación de mantener una existencia media de cada producto equivalente a 25 días de su venta promedio de los últimos seis meses o de su importación promedio en el mismo lapso, si es efectuada para su propio consumo”

Además, se destaca su **artículo 17** que le da facultad al poder ejecutivo para restringir las exportaciones de gas en caso de riesgo de amenaza al consumo interno del combustible: “En casos sobrevinientes de amenazas al abastecimiento interno de gas, a la calidad y seguridad del servicio de distribución de gas natural a clientes o consumidores finales, el Presidente de la República, previo informe del Ministerio de Energía, podrá dictar un decreto que suspenda, reduzca, limite o fije modalidades alternativas para continuar con la exportación de gas. Asimismo, dicho decreto dispondrá de las medidas que la autoridad estime conducentes y necesarias para manejar, disminuir o superar la situación que le dio origen, y principalmente para asegurar el suministro de clientes sujetos a regulación de precios.”

4.1.2.2 Servicios de Gas DFL 323/1931 MININTERIOR

Esta ley regula el transporte, la distribución de gas de red concesionada y no concesionada; la comercialización de gas; el régimen de concesiones y tarifas de gas de red; las funciones del Estado relacionadas con estas materias; y las disposiciones penales e infraccionales.

En esta ley que regula las concesiones de gas se establece que la empresa concesionaria es responsable de la seguridad y del mantenimiento adecuado de sus instalaciones, arriesgando la pérdida de la concesión si esta fuera deficiente. En su **artículo 44** se establece “ (...) Si la explotación de un servicio público distribución fuera en extremo deficiente, a causa de condiciones de calidad del servicio de gas o debido a las condiciones de seguridad de las instalaciones de gas, según las normas expresas establecidas en esta ley o en sus reglamentos o en los decretos de concesión, el Ministro de Energía podrá autorizar a la Superintendencia para tomar las medidas necesarias a expensas del concesionario para asegurar provisionalmente el servicio público de distribución de gas. (...)”.

En la ley 20.999 se realizan una serie de modificaciones al DFL 323/1931 incorporando algunos artículos que establecen responsabilidades de las empresas distribuidoras de gas con respecto a la seguridad de suministro. De esta ley se puede destacar el **artículo 28** que hace responsable a la empresa distribuidora de velar por la seguridad de las personas y cosas en caso de algún defecto en las instalaciones “Las empresas de gas deberán revisar las instalaciones de gas previo a otorgar el suministro, así como en cualquier momento a requerimiento de la Superintendencia (de Electricidad y Combustibles). Sin perjuicio de lo anterior, por su propia iniciativa o a petición de un consumidor o cliente, las empresas de gas podrán revisar las instalaciones de gas para



comprobar su estado, lo que en este último caso será de cargo del solicitante. En caso de encontrarse alguna falta o defecto en éstas la empresa de gas deberá adoptar las medidas urgentes, tales como la desconexión de los servicios cuando haya peligro para las personas o cosas, sin perjuicio de las demás medidas provisionales que ordene la Superintendencia.

Los empalmes y los medidores forman parte de la red de distribución de gas y, por lo tanto, será obligación de la empresa distribuidora mantenerlos en buen estado y en condiciones de evitar peligros para las personas o cosas o interrupciones del servicio. Para ello deberá revisarlos periódicamente y repararlos cuando sea necesario. La misma obligación aplicará sobre los tanques y sus accesorios, destinados a almacenar gas licuado para abastecer a una red de distribución no concesionada. (...). Este mismo artículo establece que el costo de mantener las instalaciones en buen estado es asumido por la misma empresa distribuidora “Toda acción ejecutada en cumplimiento de la obligación de mantenimiento de los empalmes, medidores y los tanques y sus accesorios, ya sea de revisión o reparación, será de cargo exclusivo de la empresa distribuidora, salvo cuando demuestre que la destrucción o daño fue originada por culpa o dolo del consumidor, cliente o de terceros. Asimismo, será de su cargo cuando el deterioro en las instalaciones sea consecuencia del desgaste natural que provoca el uso regular del empalme, los medidores, los tanques o sus accesorios.”

En el **artículo 45** de esta misma ley se establecen las responsabilidades cuando existe alguna falla de suministro a los usuarios finales. “Todo evento o falla originada en las instalaciones de la red de distribución de gas, que provoque la interrupción o suspensión del servicio de gas a consumidores, no autorizada en conformidad a la ley o reglamentos, y que se encuentre fuera de los estándares de seguridad y calidad de servicio de gas vigentes, y que no sea consecuencia de caso fortuito o fuerza mayor, dará lugar a una compensación a los clientes o consumidores afectados, de cargo de la respectiva empresa distribuidora, en conformidad a lo dispuesto en el presente artículo. (...)”. Cabe destacar que se hace distinción de casos fortuitos o de fuerza mayor en el que se exime a la empresa de distribución de compensar a clientes finales. El concepto de fuerza mayor no se explicita en la ley, y quedaría a interpretación del fiscalizador.

4.1.2.3 Resolución exenta 0592/2010: Establece procedimiento para la entrega de información de inventario de petróleo crudo y combustibles a la Comisión Nacional de Energía.

Esta resolución publicada por la CNE establece protocolos para que las empresas informen de sus inventarios de petróleo y combustibles a la Comisión. Si bien, no norma montos de reserva de los combustibles en caso de emergencia, si existe una distinción en la frecuencia de la información en situaciones de riesgo de abastecimiento de combustibles, como podría ser el cierre de puertos por marejadas. En su **artículo 1°** se establece la frecuencia normal de entrega de información “Todas las empresas productoras, refinadoras, importadoras, exportadoras, almacenadoras y/o comercializadoras de petróleo crudo y combustibles que posean, operen o mantengan uno o más de los combustibles que se señalan en el artículo 4°, en estanques de almacenamiento (en adelante, “empresas informantes”), deberán informar a la Comisión Nacional de Energía (en adelante, la Comisión), todos los días miércoles o el día hábil siguiente si fuere festivo, los inventarios de cierre diario de dichos combustibles correspondientes a la semana inmediatamente anterior a dicha fecha”. Acá se establece la entrega de información de inventarios a la Comisión con frecuencia semanal.



En el **artículo 11** de la resolución se establece una distinción en situaciones excepcionales “En situaciones excepcionales, producto de la interrupción de suministro que afecte el normal abastecimiento y/o nivel de inventarios de petróleo crudo y/o combustible en el mercado nacional o los mercados regionales de combustibles, la Comisión podrá instruir a todas o algunas de las empresas informantes para que la información de inventarios sea enviada diariamente.

Esta solicitud de información diaria de inventario de cierre de combustible se realizará en atención a la distribución geográfica de las plantas de combustibles y a la clase de cliente final que abastezca. (...)”.

4.1.2.4 Decreto 160/2009 MINECON: Seguridad de Instalaciones y Producción, Refinación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de Combustibles Líquidos

Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones de combustibles líquidos derivados del petróleo y biocombustibles (CL), y las operaciones asociadas a la producción, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de CL que se realicen en tales instalaciones, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas operaciones. Esto último, con el fin de desarrollar dichas actividades en forma segura, controlando el riesgo de manera tal que no constituyan peligro para las personas y/o cosas. No será aplicable a las instalaciones en campos de producción de petróleo, al suministro directo de aeronave ni al transporte marítimo de CL.

Este decreto en su **artículo 15** establece que las empresas operadoras de estas instalaciones son responsables del correcto funcionamiento de estas “Artículo 15º.- Los operadores de las instalaciones de CL, deberán velar por su correcta operación, mantenimiento e inspección, al objeto de desarrollar las actividades en forma segura, eliminando o controlando los eventuales riesgos que la operación presente para las personas y cosas.” Y en su **artículo 19** que deben contar con un experto en prevención de riesgos “Artículo 19º.- El operador de las instalaciones de CL deberá contar, en materias de seguridad de las instalaciones, con la asesoría de un experto en prevención de riesgos, en los términos establecidos en el Título III, Capítulo 1, párrafo 5 “Del Experto Profesional y Técnico en Prevención de Riesgos”.

A si mismo el decreto obliga a las empresas a contar con un plan de emergencia. El **artículo 31** dice “El plan de emergencia (...), deberá contemplar una organización de excepción y procedimientos operativos normalizados, que permitan actuar en forma sistemática, minimizando las improvisaciones y, por ende, las posibilidades de error, en el manejo de eventuales emergencias. (...)”. De esta forma la legislación mandata a tener planes preventivos evitando la improvisación cuando ocurra alguna emergencia.

4.1.2.5 Decreto 280/2010 MINECON: Seguridad para el Transporte y Distribución de Gas de Red

Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las redes de transporte y distribución de gas de red, nuevas y en uso (“las redes de gas”), respecto de su diseño, construcción, operación, mantenimiento, reparación, modificación e inspección y término de

operación. Además, se establecen las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en esas instalaciones. Esto último, con el fin de desarrollar dichas actividades en forma segura, controlando el riesgo de manera tal que no constituyan peligro para las personas y/o cosas.

Entre los requisitos para operar redes se gas se establece contar con un sistema de gestión de integridad de redes (SGIR) como lo indica el **artículo 20** “Los propietarios u operadores de toda red de gas deberán contar con un SGIR que aplique a las redes y manejo del gas de red (...)” Entre los elementos que debe contar este SGIR se mencionan “(...) Procedimientos de prevención, detección y mitigación de los riesgos de la actividad. (...), Manual de Seguridad, en adelante MS, el cual deberá ser revisado anualmente por un profesional experto en prevención de riesgos (...), Instrucciones de prevención de riesgos en el manejo del gas transportado o distribuido; (...) Plan de emergencia; relaciones con contratistas en aspectos de seguridad y durante emergencias. Éste debe contemplar una organización y procedimientos operativos que permitan actuar en forma eficaz y sistemática, minimizando las improvisaciones en el manejo de las eventuales emergencias que se puedan presentar. Asimismo, deberá contemplar un responsable de dirigir las acciones durante la emergencia, el cual debe poseer un cabal conocimiento de las instalaciones y su operación, y de las posibles emergencias que puedan ocurrir.”, las cuales podrían ser aplicables a condiciones de riesgo climático.

4.1.2.6 Decreto 108/2014 MINENERGÍA Seguridad para las Instalaciones de Almacenamiento, Transporte y Distribución de Gas Licuado de Petróleo.

Establece los requisitos mínimos de seguridad que deberán cumplir las instalaciones de GLP, en las etapas de diseño, construcción, operación, mantenimiento, inspección y término definitivo de operaciones, en las cuales se realizarán las actividades de almacenamiento, envasado, transporte, transferencia, distribución y abastecimiento de GLP, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas actividades. Esto último, con el fin de desarrollar dichas actividades en forma segura, controlando el riesgo de manera tal que no constituyan peligro para las personas y/o cosas.

Este decreto en su **artículo 20** enfatiza que los tanques de almacenamiento deben considerar riesgos naturales en su diseño “El diseño de los Tanques de Almacenamiento, sus soportes, conexiones y anclajes, deberá considerar las siguientes solicitudes: efectos sísmicos, vientos, inundaciones, y condiciones operacionales como presiones máximas de operación, temperatura de almacenamiento y riesgo de vacío interior.”.

Similarmente al decreto analizado anteriormente, esta reglamentación obliga a los operadores a contar con sistemas de gestión de seguridad, especificando en este caso un límite de capacidad en el cual se aplicaría. Esto está indicado en el **artículo 59**: “Todas las Instalaciones de GLP con capacidad agregada superior a 100 m³, deberán contar con un Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgo (SGSR). Se excluyen de esta obligación los Almacenamientos de Cilindros con capacidad de hasta 50.000 kg.

El SGSR deberá contar con la identificación de los peligros y la evaluación de riesgos de la actividad y de sus instalaciones (matriz de riesgo).



La evaluación de riesgo deberá considerar el Árbol de Eventos y sus consecuencias, como asimismo los valores umbrales de sobrepresión y radiación, confinando los efectos de un evento dentro de límites de seguridad permisibles.”

4.1.2.7 Decreto 67/2012 MINENERGÍA: Seguridad de Plantas de Gas Natural Licuado

Establece requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento, inspección y término definitivo de operaciones de Plantas de GNL, en las que se realiza licuefacción de Gas Natural o se recibe, almacena, transfiere o regasifica GNL. Asimismo, establece las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en estas actividades.

Este decreto en su **artículo 22** es idéntico al artículo 20 del decreto 108, con la diferencia de establecer otras condiciones mínimas para su aplicación, en este caso en plantas de GNL “El operador de toda Planta de GNL con capacidad de almacenamiento superior a 120 m3 deberá contar con un Sistema de Gestión de Seguridad y Riesgo (SGSR).

El SGSR debe contar con una matriz de riesgo que contenga la identificación de los peligros y evaluación de los riesgos de la actividad y de sus instalaciones. (...)”.

4.1.3 Ley Marco de Cambio Climático

La implementación de la Ley 21.455, Marco de Cambio Climático (LMCC) no establece explícitamente elementos que aporten a mejorar la resiliencia del sector energía al cambio climático, dado el objetivo mismo de la ley que apunta a la gestión climática en general. En este sentido, si bien la ley hace mención o se refiere al concepto de resiliencia en instrumentos como la Estrategia Climática de Largo Plazo o los Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático, no hay ningún elemento adicional que sea considerable para en el contexto de este estudio. En todo caso, la Estrategia Climática de Largo Plazo se describe en detalle y los Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático son parte de la descripción de los Planes de Adaptación (nacional y de energía).

La implementación de la ley depende de la dictación de 23 reglamentos mandatados por el legislador por parte del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y otros organismos del Estado.

La gran mayoría (20) de los reglamentos requerido depende del MMA. En el caso del Artículo 13, referido al Reglamento que regula el procedimiento de elaboración, revisión y actualización de los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos (PERH) en cuencas, su monitoreo y reporte, depende del Ministerio de Obras Públicas. En el caso del Artículo 19, que establece la dictación del Reglamento que fija el funcionamiento interno y las normas para la conformación del Comité Científico Asesor para el Cambio Climático, y el artículo 29, sobre el Reglamento que fija las normas de funcionamiento del Sistema Nacional de Prospectiva de Gases de Efecto Invernadero, son responsabilidad conjunta entre el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, y el del Medio Ambiente.

En el Anexo E se resume el estado actual de los reglamentos de la LMCC. La revisión de éstos tampoco manifiesta elementos que aporten a la resiliencia del sector energía.

4.2 Revisión de normativa internacional

Se revisan experiencias internacionales de regulaciones relacionadas con la promoción de la resiliencia frente a la crisis climática de la infraestructura energética en cada país. De ellas se presentan aquellas consideradas más novedosas, relegando en la exposición aquellas ya analizadas o bajo análisis en el contexto local, como lo son la generación distribuida y el almacenamiento tanto en el sector eléctrico como el de combustibles.

4.2.1 Reino Unido

4.2.1.1 *National Policy Statement (NPS) en infraestructura energética*

Reino Unido ha incorporado criterios de adaptación frente al cambio climático en la regulación de su infraestructura energética. Dentro de las medidas se considera la mejora de diseño de subestaciones frente a inundaciones, protección móvil contra inundaciones, medidas en generación eléctrica frente a escasez hídrica, y evaluación de riesgos en instalaciones nucleares y redes de gas.

Las medidas son resultado del marco político que establece Climate Change Act 2008, el cual permite reportes de requerimientos para proveedores de infraestructura crítica, evaluación obligatoria del riesgo climático en nuevas instalaciones, y mejoras normativas en la resiliencia de los sistemas eléctricos (European Environment Agency, 2019), entre otras disposiciones.

Las medidas mencionadas anteriormente se encuentran detalladas en las políticas de planificación nacional de cada país, y en la planificación de proyectos de infraestructura de importancia nacional a nivel de Reino Unido. Los primeros documentos refieren a The National Planning Policy Framework (NPPF) (Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2021) de Inglaterra, al National Planning Framework (NPF) de Escocia, National Development Framework (NDF) de Gales y en The National Planning Framework (NPF) de Irlanda del Norte, y corresponden a los marcos de políticas de planificación nacional que proporcionan directrices generales para la planificación del uso del suelo y decisiones de desarrollo de cada país. Todas estas políticas de planificación hacen referencia a la National Policy Statement (NPS) de Reino Unido (Department of Energy & Climate Change, 2011).

Los proyectos de importancia nacional de Reino Unido son regulados por el NPS, que establece las políticas y consideraciones para la planificación, autorización y ejecución de estos proyectos, y son respaldados por la Ley de Planificación de 2008. El NPS, se divide en sectores clave como energía, transporte, agua, gestión de residuos, entre otros.

Para ejemplificar las medidas de adaptación al cambio climático en las políticas de planificación nacional, se destaca el capítulo 14 del NPPF de Inglaterra (Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2021), donde se tiene lo siguiente:

- “Los planes deben adoptar un enfoque proactivo para mitigar y adaptarse al cambio climático, teniendo en cuenta las implicaciones a largo plazo para el riesgo de inundaciones, el cambio costero, el suministro de agua, la biodiversidad y los paisajes, y el riesgo de sobrecalentamiento por el aumento de las temperaturas.”

- “Debe evitarse el desarrollo inadecuado de infraestructuras en zonas con riesgo de inundación (...) Cuando el desarrollo sea necesario en dichas zonas, el desarrollo debe ser seguro durante su vida útil sin aumentar el riesgo de inundación en otros lugares.”
- “Todos los planes deben aplicar un enfoque secuencial, basado en el riesgo, a la ubicación del desarrollo -teniendo en cuenta todas las fuentes de riesgo de inundación y los impactos actuales y futuros del cambio climático- con el fin de evitar, en la medida de lo posible, el riesgo de inundación para las personas y los bienes.”
- “Sólo debería permitirse el desarrollo en zonas con riesgo de inundación cuando, (...) pueda demostrarse que a) dentro del emplazamiento, el desarrollo más vulnerable está situado en las zonas de menor riesgo de inundación, a menos que existan razones imperiosas para preferir una ubicación diferente; b) el desarrollo es adecuadamente resistente a las inundaciones y resiliente, de modo que, en caso de inundación, podría volver a utilizarse rápidamente sin una renovación significativa; c) incorpora sistemas de drenaje sostenibles, a menos que existan pruebas claras de que esto sería inapropiado; d) cualquier riesgo residual puede gestionarse de forma segura; y e) se incluyen vías de acceso y escape seguras cuando proceda, como parte de un plan de emergencia acordado.
- “El desarrollo en una Zona de Gestión del Cambio Costero sólo será apropiado cuando se demuestre que: a) será seguro durante su vida útil prevista y no tendrá un impacto inaceptable en el cambio costero; b) no se compromete el carácter de la costa, incluidas las designaciones; c) el desarrollo proporciona beneficios de sostenibilidad más amplios; y d) el desarrollo no obstaculiza la creación y el mantenimiento de una ruta continúa señalizada y gestionada alrededor de la costa.”

En términos simples, la planificación del desarrollo de infraestructura debe ser sumamente justificada según evaluación multicriterio, y que el enfoque actual radica en el riesgo ante inundaciones y cambio costero.

Respecto al NPS en infraestructura energética, se tiene un documento separado para infraestructura de energía (EN-1), generación con combustibles fósiles (EN-2), de energías renovables (EN-3), para diésel y gas (EN-4), para redes eléctricas (EN-5) y de energía nuclear (EN-6). Cada NPS forma parte del conjunto de NPS sobre energía (EN), y deben leerse en conjunto con la norma de energía (EN-1), ya que esta contiene los objetivos de alto nivel, la política y el marco regulador de los nuevos proyectos de infraestructuras de importancia nacional.

Por ejemplo, en la NPS de redes eléctricas (EN-5), se menciona que las consideraciones contra impactos genéricos (incluyendo impactos del cambio climático) se mencionan en el documento EN-1, y solo profundiza en impactos como biodiversidad y conservación geológica, ruido y vibraciones, paisaje y campos electromagnéticos.

En la NPS de energía (EN-1), se presentan los impactos asociados a inundaciones y sequías, entre otros impactos, junto la evaluación de aplicación de proyectos, decisión del Comité de Planificación de Infraestructuras (IPC por sus siglas en inglés) y formas de mitigación. Otros efectos de cambio climático son mencionados, como olas de calor, precipitaciones intensas y

aumento del nivel del mar, pero no son abordados con el mismo nivel de detalle que inundaciones y sequías.

Del NPS de energía, se destacan los siguientes puntos:

- “4.8.5. Por lo general, las nuevas infraestructuras energéticas son inversiones a largo plazo y deberán permanecer operativas durante muchas décadas en un clima cambiante. Por consiguiente, los solicitantes deben tener en cuenta los impactos del cambio climático a la hora de planificar la ubicación, el diseño, la construcción, el funcionamiento y, en su caso, el desmantelamiento de las nuevas infraestructuras energéticas. La declaración ambiental (ES, por sus siglas en inglés) debe exponer cómo la propuesta tendrá en cuenta los impactos previstos del cambio climático. Aunque la Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) no lo exige, esta información será necesaria para la IPC.”
- “4.8.6. El IPC debe cerciorarse de que los solicitantes de nuevas infraestructuras energéticas han tenido en cuenta los impactos potenciales del cambio climático utilizando las últimas proyecciones climáticas del Reino Unido disponibles en el momento de elaborar el ES para garantizar que han identificado las medidas de mitigación o adaptación adecuadas. Esto debería cubrir la vida útil estimada de la nueva infraestructura. En caso de que se disponga de un nuevo conjunto de proyecciones climáticas del Reino Unido después de la preparación del ES, el IPC deberá considerar si necesita solicitar más información al solicitante.”

4.2.1.2 Avance y monitoreo

La Ley de Cambio Climático de 2008 da facultades a un Comité de Cambio Climático (CCC) para asesorar al gobierno sobre la Evaluación de Riesgos del Cambio Climático (CCRA, por sus siglas en inglés). Este mismo comité elaboró un reporte al parlamento el año 2023 sobre el progreso en adaptación al cambio climático (Climate Change Committe, 2023), y presenta las siguientes observaciones del sector energía.

Tabla 4.3: Tabla resumen del análisis de progreso en adaptación en sector energía (Climate Change Committe, 2023).

Ámbito	Observaciones
Reducción de la vulnerabilidad de los activos energéticos a las condiciones meteorológicas extremas	<ul style="list-style-type: none"> • El cambio climático se tiene en cuenta en las solicitudes legales de planificación de nuevas infraestructuras y los informes presentados en el marco de la Capacidad de Adaptación demuestran los avances realizados en algunos ámbitos. • Existen algunas políticas y normas específicas para aumentar la resiliencia de los activos, como la protección contra inundaciones de las subestaciones.

- | | |
|--|---|
| <p>Seguridad de abastecimiento del sistema</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Se necesitan normas mínimas de resiliencia y una competencia más clara en materia de resiliencia climática para los reguladores. • Hay avances en la resistencia a las inundaciones, pero se necesita más información sobre otros peligros, como el calor y la sequía. |
| <p>Identificación y gestión de las interdependencias</p> | <ul style="list-style-type: none"> • El Gobierno se ha comprometido a lograr un suministro energético descarbonizado y seguro para 2035 y ha reconocido la necesidad de resiliencia, pero no existe una norma definida para la resiliencia a nivel de sistema y siguen existiendo problemas de suministro. • Se necesita más investigación para comprender los posibles impactos climáticos en el sistema energético, y esto debe integrarse en el diseño del sistema y en los procesos de inversión. |
| <p>Identificación y gestión de las interdependencias</p> | <ul style="list-style-type: none"> • La cobertura de los riesgos de interdependencia ha mejorado en algunos planes de adaptación, pero sigue siendo un área que plantea importantes retos. • No es posible evaluar los avances en el suministro en todo el sistema energético debido a la falta de datos sobre los generadores. |

Las observaciones reflejan lo mencionado anteriormente en la NPS de energía, donde se tiene un principal avance en cuanto a adaptación contra inundaciones y sequías, pero no se ha trabajado con otros efectos del cambio climático como olas de calor, precipitaciones intensas y aumento del nivel del mar.

4.2.1.3 Elementos que destacar

La evaluación de impacto ambiental de los proyectos permite comparar con el proceso actual de Chile en materia de estudio de impacto ambiental con el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) como institución a cargo.

El proceso actual de Declaración o Estudio de Impacto Ambiental (DIA o EIA), permite reconocer el impacto ambiental de un proyecto a partir de la identificación de una línea base, y a partir de este proponer medidas de mitigación o compensación del impacto, todo esto de la mano con un proceso de participación ciudadana (en el caso de EIA), y bajo solicitudes de aclaración a la parte interesada en realizar el proyecto.

Si bien los estándares de estas declaraciones o estudios permiten un nivel de detalle acabado del proyecto, no hay un marco político que dirija el diseño e implementación considerando criterios de resiliencia frente a efectos críticos del cambio climático. De la misma forma, no se consideran los efectos de interdependencia entre distintos eventos y sectores involucrados.



Luego, un marco político como la NPS, con criterios de adaptación y resiliencia en los proyectos de importancia nacional, permitiría la inclusión de esta materia en las declaraciones o estudios de impacto ambiental.

Siguiendo la misma línea del avance y monitoreo por parte del CCC, algunas barreras o dificultades que pueden presentarse en Chile corresponden a:

- El acceso a información e indicadores estandarizados respecto a los distintos eventos climáticos extremos a los que se pueden enfrentar los proyectos, considerando las distintas condiciones existentes a lo largo del territorio nacional. Se refiere a un estándar que permita un nivel de detalle espacial y temporal específico para cada localidad del país, proyecciones actualizadas periódicamente, y que provengan de institución(es) competente(s) en la materia. La fuente de información en sí es una dificultad ya que requiere estudios para cada fenómeno climático a partir de datos georreferenciados, información histórica y proyecciones con base científica.
- Definición de nuevo alcance de responsabilidad y competencia de las instituciones reguladoras. Por ejemplo, en cuanto a la eventual potestad de instituciones a fiscalizar y sancionar proyectos que no cumplen con criterios mínimos de resiliencia ante eventos extremos.

La definición de zonas de menor riesgo a los eventos climáticos o ubicación estratégica de infraestructura, que puede ir en contra de la lógica de acceso abierto que actualmente opera en Chile. Hoy en día los proyectos pueden realizarse siempre y cuando cumplan con la normativa vigente y permisos necesarios, la cual no considera zonas de riesgo o vulnerabilidades ante los impactos y eventos extremos asociados al cambio climático, ni tampoco su repercusión en la resiliencia de otros sistemas o proyectos.

4.2.2 Japón

De acuerdo con el indicador de políticas de resiliencia sobre Japón realizado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), se puede mencionar que Japón desarrolló en 2018 su **Ley de Adaptación al Cambio Climático** que sirvió como base para las medidas de adaptación en ese país. Esta ley obliga a Japón a realizar su **Plan de Adaptación al Cambio Climático** en el año 2018, el cual debe ser renovado cada 5 años. Este plan de adaptación exige al país el desarrollo de sistemas de información climática, reforzar la adaptación al cambio climático a nivel regional y la cooperación internacional en la materia. En tanto, los gobiernos regionales deben realizar sus propios planes de adaptación de acuerdo con la realidad de cada uno de estos. En el contexto de la ley de adaptación al cambio climático y con el fin dar soporte a las medidas de adaptación, se desarrolló una plataforma de información sobre adaptación al cambio climático acuñada como **A-PLAT**. El objetivo de esta herramienta es apoyar a administraciones locales, empresas y particulares a adoptar medidas de adaptación.

El Plan de Adaptación al Cambio Climático (Ministry of the Environment of Japan, 2018) define siete estrategias, incluyendo medidas en políticas públicas, el desarrollo de investigación científica, recolección e investigación de datos climáticos, adaptación de planes a características



regionales, mejorar concienciación pública, entrega de ayudas para adaptación al cambio climático para países en vías de desarrollo, y cooperación internacional. De acuerdo con el análisis realizado por la IEA el sector energético en Japón está catalogado como poco prioritario y, por lo tanto, el nivel de urgencia de adaptación para el sector es bajo. Esto se concluye por la falta de consenso en cuanto a los impactos climáticos en el sector.

En el año 2020 se desarrolla el **Informe de Evaluación del Impacto Climático** (Ministry of the Environment, Japan, 2020), entregando una visión general de impacto del cambio climático en siete sectores económicos con el sector energético agrupado en la categoría industrial. Al igual que en el plan de adaptación al cambio climático se evalúa el sector energético como poco prioritario, afirmando que hay poca investigación concluyente sobre los efectos del cambio climático en el sector energía a pesar de que Japón ha sido afectado por aumentos drásticos en la demanda eléctrica por olas de calor y daños a la infraestructura por tifones.

A pesar de que el trabajo para identificar impactos en el sector energía están recién comenzando en Japón, en junio de 2020 se promulga la **Ley para establecer la resiliencia del suministro eléctrico**, la que establece un plan de acción colectivo para que operadores de redes eléctricas garanticen la fiabilidad de las redes en caso de catástrofe. En el año 2021 se desarrolla el **Plan Estratégico de Energía** de Japón donde también se aborda la resiliencia de las redes eléctricas frente a catástrofes naturales. En particular la ley para establecer la resiliencia del suministro eléctrico exige que los operadores de redes de transmisión y distribución desarrollen por adelantado planes de contingencia para facilitar la cooperación en caso de catástrofes naturales y que estas empresas cuenten con un fondo de reserva para dar respuesta a emergencias.

El plan energético de Japón en su sexta edición tiene los siguientes ejes fundamentales (IEA, 2022):

- Alcanzar la neutralidad en carbono para 2050 y el objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Garantizar un suministro energético estable y reducir sus costes, actuando al mismo tiempo contra el cambio climático.

Algunas de las medidas de este plan en relación con la resiliencia del sector son:

Energía térmica

- Para que el suministro de energía sea resiliente en situaciones de emergencia como catástrofes, se mantendrá el almacenamiento de petróleo y gas licuado; se mejorará la productividad de las refinerías mediante la cooperación entre empresas dentro y fuera de los complejos.

Energía eléctrica

- Se reanalizarán las responsabilidades y funciones para garantizar la seguridad energética.
- Para garantizar seguridad energética en caso de catástrofe se mejorarán líneas de interconexiones regionales y se reforzarán medidas contra caída de árboles en base a



planes de acción de respuesta a catástrofe, preparación ante ciberataques y garantía de ciberseguridad para proveedores de energía.

Como comentarios finales de la revisión normativa de Japón, en relación con resiliencia y adaptación al cambio climático, se comparte la conclusión realizada por la IEA, ya que, existen escasas iniciativas de medidas de adaptación particulares al sector energético y la prioridad del sector es considerada como baja en comparación con otros sectores como agricultura, salud, pesca, entre otros.

Esta baja prioridad se atribuye a la falta de estudios concluyentes de los impactos en el sector energético. Esto, en parte, se puede explicar al revisar la matriz eléctrica de Japón, la cual es principalmente térmica con combustibles importados, por lo que el principal riesgo analizado en el país es la escasez de combustibles por eventuales problemas de importación de las materias primas.

4.2.3 Alemania

La exposición de Alemania a los efectos del cambio climático es cada vez mayor. En las dos últimas décadas, el país ha sufrido un número considerable de fenómenos meteorológicos extremos, sobre todo inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor, que han tenido un impacto significativo en los medios de subsistencia, el medio ambiente y la economía. Debido al creciente cambio climático, estos fenómenos extremos van en aumento en muchas regiones del país. La catástrofe de las inundaciones de 2021 contribuyó a aumentar la aceptación ciudadana de una acción climática más enérgica y recuerda la urgente necesidad de prevenir futuras pérdidas y daños por este tipo de fenómenos climáticos extremos.

En este sentido, Alemania es conocida por ser uno de los países líderes en la transición hacia una economía baja en carbono y por su compromiso con la mitigación y adaptación al cambio climático. Como parte de estos esfuerzos, ha implementado regulaciones y políticas específicas para promover la resiliencia en el sector energético frente al cambio climático.

4.2.3.1 Regulaciones asociadas a la resiliencia en la infraestructura energética

La adaptación al cambio climático y la resiliencia del sistema energético han sido áreas clave en los Planes de Acción para la Adaptación (APA). En el APA I, la energía era uno de los 15 sectores analizados, mientras que en el APA II y el APA III se incluyó en uno de los seis grupos ("infraestructuras", que detalla acciones para la energía, el transporte y la construcción).

Otros documentos, además de los APA, también han abordado la resiliencia climática del sector energético. Por ejemplo, la sección sobre la industria energética de la Evaluación Federal de Impactos y Riesgos Climáticos destaca los posibles cambios en la demanda de energía para calefacción y refrigeración, la disponibilidad de agua de refrigeración para las centrales térmicas y los daños a las centrales eléctricas y las instalaciones de producción por fenómenos meteorológicos extremos.



El APA III²⁰ propone varias medidas específicas, aunque la mayoría de las acciones del grupo de infraestructuras se centran en el transporte. Se incluye el análisis de cómo afecta el cambio climático a la generación de electricidad de las centrales térmicas y los procesos industriales, y la integración de la adaptación y la resiliencia en la construcción y financiación de edificios.

El APA III describe 33 medidas que deberán aplicarse en el grupo infraestructura al año 2024. Dado que el cambio climático provoca olas de calor cada vez más frecuentes, que pueden hacer subir la temperatura interior de los edificios, el APA III prevé la integración de los aspectos de resiliencia climática en la construcción (obra nueva y parque inmobiliario) en el contexto de los programas de financiación. El objetivo es diseñar los edificios de tal manera que se tomen medidas para contrarrestar el aumento de las temperaturas interiores como consecuencia del cambio climático, y hacerlo de una manera que tenga un impacto climático mínimo. Esto puede lograrse, por ejemplo, mediante enfoques de aislamiento térmico en verano (sombreado) o refrigeración por evaporación.

Además, el mecanismo de construcción de edificios inteligentes desde el punto de vista climático garantiza que los descubrimientos y conocimientos disponibles sobre fenómenos meteorológicos extremos se incorporen a las reglas y normas técnicas que rigen el mantenimiento, la reparación y la nueva construcción de edificios. En el contexto de los programas de financiamiento, esto puede ayudar a reconocer precozmente el potencial de grandes riesgos y minimizar sustancialmente los daños. Entre las herramientas previstas figuran orientaciones de evaluación y tablas regionales de cargas seguras.

En el área temática 1, "Adaptación del transporte y las infraestructuras al cambio climático y a los fenómenos meteorológicos extremos", la red de expertos BMVI²¹ elabora un análisis del impacto climático en los tipos de infraestructuras de transporte: carreteras, ferrocarriles y vías navegables²². El objetivo de este análisis será conocer las posibles repercusiones de los efectos climáticos y los peligros naturales sobre las infraestructuras federales de transporte.

También, desde el punto de vista del transporte marítimo, en el ámbito de competencia de la Administración Federal de Vías Navegables y Navegación (WSV), se están dando pasos concretos para integrar sistemáticamente el aspecto del cambio climático en los procesos de planificación. Este "climate proofing"²³ de la WSV integra servicios de datos, directrices y programas de formación.

²⁰

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf

²¹ https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/EN/Topics/Topics_node.html

²² https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/EN/Publications/Synthesebericht_EN.pdf?__blob=publicationFile&v=3

²³ <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/anpassung-wasserstrassen-klimawandel.html>



La resiliencia climática del sector energético se trata menos en los planes energéticos nacionales que en los planes climáticos. Aunque el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (NECP) 2021-2030 de Alemania aborda la resiliencia a las crisis de suministro energético, no especifica las interrupciones del suministro energético provocadas por el clima. El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (Unión Europea, 2022), considera los siguientes objetivos centrales para 2030 en la dimensión seguridad energética:

- Cobertura de la demanda energética de Alemania en todo momento
- Resistencia continuada a las crisis de suministro
- Mayor reducción de la probabilidad de crisis de suministro
- Preparación ante un posible deterioro de la situación del suministro

Por otro lado, la Ley de la Industria Energética y el Concepto Energético del Gobierno Federal no incluyen acciones para reforzar la resiliencia climática en este sector.

En lo que respecta a las normas de seguridad y calidad del suministro eléctrico, el Reglamento de Conexión a la Red Eléctrica (Technische Anschlussregeln, TAB²⁴) y el Reglamento de Suministro de Energía (Muster-Netzzugangsbedingungen Strom, MaNStrom²⁵) establecen las normas técnicas y de seguridad para la infraestructura de red y la calidad del suministro eléctrico. Estas normas garantizan que las redes eléctricas estén diseñadas y operadas de manera robusta y segura, lo que aumenta la resiliencia frente a eventos climáticos adversos.

A continuación, se mencionan otras regulaciones clave asociadas a la resiliencia en el sector energético en Alemania:

- Ley de Energía y Agua (Energiewirtschaftsgesetz, EnWG): Esta ley regula el suministro de energía y agua en Alemania y establece requisitos para la seguridad y la confiabilidad del suministro. Ha sido actualizada para incluir disposiciones relacionadas con la resiliencia ante eventos climáticos extremos. Por ejemplo, las empresas de servicios públicos están obligadas a desarrollar planes de emergencia y a garantizar la continuidad del suministro de energía incluso en situaciones de crisis.
- Estrategia Energética 2050: Esta estrategia es un marco de políticas a largo plazo que establece los objetivos y medidas para la transición energética en Alemania. Incluye metas específicas para aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar el uso de energías renovables. Al promover la diversificación de la matriz energética, esta estrategia contribuye a la resiliencia del sistema energético frente a los impactos del cambio climático.

²⁴ <https://www.energienetze-mittelrhein.de/enm/Downloads/Stromnetz/Netzanschluss/2020-05-27%20TAB%20Niederspannung%20enm.pdf> y https://www.sw-netz.de/wp-content/uploads/TAB_2019.pdf

²⁵

https://www.bundesnetzagentur.de/EN/Home/home_node.html;jsessionid=01EAB6F95BF6A66CEBD3A139B05970DE



El Gobierno Federal está intensificando su compromiso con la adaptación al cambio climático en todos los niveles de la Administración. Se está preparando una nueva Ley Federal de Adaptación al Cambio Climático para orientar al Gobierno Federal en el desarrollo y la aplicación de una estrategia nacional de adaptación. Es necesario seguir reforzando la capacidad de aplicación de los gobiernos subnacionales. Alemania está preparando indicadores y objetivos concretos de adaptación en diferentes sectores económicos, un ejercicio que será relevante para otros países de la OCDE. Las necesidades de financiamiento para la adaptación van a aumentar sustancialmente, y la falta de financiamiento constituye ya un obstáculo importante para el desarrollo de la resiliencia climática (OECD, 2023).

Al mismo tiempo, el Gobierno federal ha puesto en marcha un programa para fomentar las inversiones en soluciones basadas en la naturaleza (SBN) a través del Plan de Acción Federal sobre Soluciones Basadas en la Naturaleza para el Clima y la Biodiversidad (Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, ANK). El plan de acción, dotado con 4.000 millones de euros, podría cambiar las reglas del juego y contribuir masivamente a mejorar la protección natural del clima (BMUV, 2022).

Con este presupuesto, pretende acelerar la aplicación de las SBN para alcanzar los objetivos climáticos nacionales. Para ello, se presta especial atención al sector LULUCF. Las actividades paralelas ayudarán a invertir la pérdida de biodiversidad y a aumentar la resiliencia climática. El plan de acción está estrechamente vinculado a muchos programas y estrategias sectoriales para crear sinergias y agrupar todas las actividades de SBN dentro de un enfoque coherente. El ANK define 64 medidas individuales en diez campos de acción, entre los que se incluyen:

- Aplicar la Estrategia Nacional de Protección de las Turberas
- Restablecer un equilibrio hídrico casi natural
- Promover bosques sanos
- Hacer que las ciudades y los municipios sean resilientes al clima.

También se promueve la aplicación de SBN en zonas urbanas. La ANK propone mejorar la retención del agua, también en las zonas urbanas, y reforzar la infiltración del agua de lluvia mediante el financiamiento de proyectos de desobstrucción (BMUV, 2022). Otras medidas se financian a través del Programa de Adaptación de las Zonas Urbanas al Cambio Climático (BMWSB²⁶). Este programa apoya a ciudades y municipios en el desarrollo urbano respetuoso con el clima. El programa apoya, entre otras cosas, la mejora de parques y zonas verdes, el desasfaltado, el reverdecimiento de espacios abiertos y zonas de tráfico o medidas para reforzar la biodiversidad.

26

<https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/kurzmeldungen/Webs/BMWSB/DE/2022/anpassung-an-klimawandel.html>



4.2.3.2 *Programas y casos de análisis en Alemania*

A continuación, se describen algunos programas y casos recopilados en temáticas cercanas a la resiliencia para infraestructura energética debido al cambio climático.

Programa Federal de Adaptación de las Zonas Urbanas al Cambio Climático

Este corresponde a un programa de subvención en apoyo de soluciones basadas en la naturaleza y que financia proyectos de infraestructuras verdes y azules de ciudades y municipios para la protección y adaptación al clima.

Iniciativa Global para la Gestión del Riesgo de Desastres (GIKRM)

Esta iniciativa desarrollada para fortalecer la resiliencia a los riesgos de desastres inducidos por el clima se ha comprometido a colocar los temas de adaptación más firmemente en la agenda internacional. La iniciativa comprende:

Fase I: Junto con los socios regionales, identificar los riesgos y desarrollar enfoques sistémicos de mitigación de riesgos para una MFC más eficaz. Fase II: Fortalecer a los actores para la coherencia de la agenda (Marco de Sendai, Acuerdo de París sobre el Clima, Agenda 2030, Hábitat III) en los procesos de planificación, implementación y presentación de informes de la GRR. Fase III: Posicionamiento del desarrollo informado sobre el riesgo en el nexo entre adaptación climática, desarrollo de infraestructuras y contextos frágiles. Refuerzo de las competencias en materia de riesgos y fomento de la cooperación intersectorial.

Basándose en el informe de la GCA "Adapt Now - A Global Call for Leadership on Climate Resilience"²⁷, desde 2019 se han puesto en marcha a escala mundial medidas concretas en ocho ámbitos de acción. En particular se propone el modelo de "ciudad esponja, muy extendido en las regiones angloamericanas y chinas, donde se considera una respuesta estratégica y viable para la resiliencia climática, el reverdecimiento urbano y la calidad de vida en los barrios urbanos de alta densidad.

Recopilación de Herramientas para una remodelación urbana climáticamente inteligente

Los efectos del cambio climático en las ciudades -calor, sequía, lluvias torrenciales- se intensifican con la redensificación en curso. En el proyecto de investigación "Reurbanización urbana resiliente al clima - procesos de planificación, cooperación y comunicación exitosos" (2017-2019)²⁸, se están recopilando en una caja de herramientas con buenos ejemplos de estructuras y procesos de planificación prometedores para la adaptación al clima en la reurbanización urbana de 8 ciudades de estudio de caso. Se pretende ofrecer a los municipios una cartera digital con materiales de trabajo orientados a la práctica, fichas informativas y ejemplos transferibles. Anteriormente, el proyecto "Climate-Silent Urban Redevelopment - Assessment and Transfer of Results of the Research Field StadtKlima- ExWoSt" (2014-2016)

²⁷ <https://gca.org/globalecommission-on-adaptation/report>

²⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-change-adaptation/adaptation-tools/projects-studys/climate-resilient-urban-regeneration-2017>



proporcionó a las ciudades herramientas análogas para la remodelación urbana resiliente al clima: en particular, para la evaluación del impacto climático, para la identificación y financiación de medidas, para el trabajo de expertos, para el intercambio intermunicipal de experiencias, para la adquisición de conocimientos y para situar la adaptación al clima en los distintos departamentos y niveles administrativos.

Proyectos relacionados al ámbito costero

En las líneas de financiamiento "Investigación costera en el Mar del Norte y el Mar Báltico - KÜNOII" e "Investigación en ingeniería costera", el BMBF financia la investigación sobre el uso sostenible de las regiones costeras alemanas en el contexto del cambio global, en particular el cambio climático y su impacto en los espacios naturales, económicos y de vida en la costa y sus mares costeros. Desde 2016 y 2020, se han financiado varios proyectos para desarrollar nuevos conceptos en la protección contra inundaciones y en la construcción y mantenimiento de infraestructuras para la protección costera y la ingeniería hidráulica con un enfoque en los efectos del cambio climático (marejadas, aumento del nivel del mar).

En la línea de financiamiento "Investigación en ingeniería costera", el BMBF financia continuamente proyectos sobreprotección costera y contra inundaciones, drenaje costero y construcción y mantenimiento de vías navegables y puertos, en cooperación con las administraciones federales y de los estados costeros que trabajan en ingeniería costera. La adaptación al cambio climático es cada vez más importante en estos proyectos.

En el caso del Plan de Adaptación nacional, se mencionan los daños en las costas como consecuencia del alza del nivel del mar (que aumentará en un futuro lejano) y el consiguiente aumento del riesgo de marejadas. Para ello se menciona la protección costera y marina, construcción, transporte, infraestructuras de transporte e industria y comercio; como los ámbitos de actuación especialmente afectados.

En la misma línea, en la estrategia de adaptación (DAS, 2020), Alemania ha implementado diversas medidas para reducir el impacto del cambio climático en el sector energético relacionado con las costas. Algunas de estas medidas incluyen:

- Protección costera. Alemania ha fortalecido sus medidas de protección costera para hacer frente al aumento del nivel del mar y las tormentas más intensas. Se han construido y fortalecido diques y sistemas de defensa costera para proteger las infraestructuras energéticas, como parques eólicos marinos y plantas de energía en la costa, de los efectos adversos del cambio climático.
- Evaluación del riesgo y planificación. Se han realizado estudios de evaluación del riesgo en las áreas costeras para identificar las zonas más vulnerables y los impactos potenciales en la infraestructura energética. Estos estudios ayudan a informar la planificación y el diseño de nuevas instalaciones energéticas, considerando los riesgos climáticos y adaptándose a ellos.
- Diseño resiliente. La infraestructura energética en las costas se está diseñando de manera más resiliente para resistir los impactos del cambio climático. Por ejemplo, los parques eólicos marinos se construyen con turbinas y cimientos resistentes a las



tormentas y se tienen en cuenta los cambios en los niveles del mar en su diseño estructural.

4.2.4 Estados Unidos/California

En 2021 Estados Unidos aprobó la ley de inversión en infraestructura y empleo, en inglés conocida como “Bipartisan Infrastructure Law”. Esta ley establece un presupuesto de 550 mil millones US\$ entre 2022 y 2026 destinados para financiar inversión en infraestructura, tales como carreteras, puentes, transporte público, infraestructura para recursos hídricos, resiliencia ante el cambio climático e inversión en infraestructura para telecomunicaciones. La inversión incluye el desarrollo obras para mejorar la resiliencia de la infraestructura ante los impactos del cambio climáticos, eventos climáticos extremos y ciberataques.

La Oficina “Grid Deployment Office” dependiente del Departamento de Energía de Estados Unidos (Department of Energy o DOE) está a cargo de administrar una serie de programas²⁹ de financiamiento tales como el *Grid Resilience and Innovation Partnerships* (GRIP) y el *Grid Resilience State and Tribal Formula Grants*.

El GRIP cuenta con un presupuesto de 10,5 mil millones para mejorar la flexibilidad y la resiliencia del sistema eléctrico ante eventos climáticos extremos y el cambio climático. Este programa cuenta con tres mecanismos de financiamiento:

- *Grid Resilience Utility and Industry Grants*: Cuenta con presupuesto de 2,5 billones US\$ y está destinado para financiar obras del sistema de transmisión y distribución que permitan mitigar los impactos de incendios, aluviones, huracanes, olas de calor, olas de frío, tormentas y cualquier evento que pueda afectar al sector eléctrico. El fondo está destinado para empresas privadas y operadores de red.
- *Smart Grid Grant*: Cuenta con un presupuesto de 3 billones US\$ y tiene como objetivo invertir en redes inteligentes e incrementar la capacidad del sistema de transmisión, la integración de energías renovables, la electrificación de vehículos y la electrificación de otros usos finales.
- *Grid innovation program*: Cuenta con un fondo de 5 billones US\$ y está destinado para financiar soluciones innovadoras en transmisión, almacenamiento, distribución que permitan mejorar la confiabilidad y resiliencia de la red eléctrica.

El *Grid Resilience State and Tribal Formula Grants* también tiene como objetivo principal fortalecer y modernizar el sistema eléctrico ante incendios, eventos extremos, desastres naturales y fenómenos asociados al cambio climático. El programa cuenta con un fondo de 2,3 billones US\$ y en julio de 2023 se asignaron los primeros 207,6 millones US\$ entre distintos estados que postularon distintos proyectos para acceder a este fondo. Por ejemplo, el estado de California recibió un fondo de 67,5 millones US\$ para iniciativas relacionadas con mejorar la resiliencia del sector eléctrico.

²⁹ <https://www.energy.gov/gdo/grid-and-transmission-program-conductor>



En el caso particular de California, este estado ha implementado las siguientes políticas para mejorar la resiliencia del sector energético:

- Desarrollo de energías renovables: Se considera que las energías renovables son menos vulnerables a los eventos climáticos extremos en comparación con las tecnologías termoeléctricas.
- Modernización de la red eléctrica.
- Eficiencia energética: Buscar reducir los niveles de demanda y así la dependencia a la oferta de energía.
- Desarrollo de microrredes: Microrredes pueden operar de manera aislada de la red eléctrica y así mejorar la resiliencia del sistema.

En 2021 la California Natural Resources Agency actualizó la estrategia de adaptación al cambio climático³⁰. La estrategia define 6 prioridades claves para mejorar la resiliencia de California:

1. Fortalecer la protección de comunidades vulnerables.
2. Reforzar la salud y seguridad pública ante el incremento de los riesgos climáticos.
3. Desarrollar una economía resiliente.
4. Acelerar y fortalecer las soluciones basadas en la naturaleza.
5. Mejorar la toma de decisión basándose en lo establecido por la mejor ciencia disponible.
6. Fortalecer la cooperación entre las distintas instituciones.

La estrategia define una serie de objetivos y acciones para cumplir con estos objetivos³¹. A su vez, las acciones están caracterizadas por distintas métricas y definición de instituciones responsables. Las acciones relacionadas con el sector energético son las siguientes:

- Reducir el riesgo de incendios provocados por la infraestructura energética
- Incrementar la resiliencia de la infraestructura energética crítica (a cargo de la California Public Utilities Commission, ver más abajo detalles del rol de esta institución).
- Proveer financiamiento para investigar sobre los efectos del cambio climático en los distintos sectores de la economía.
- Proveer financiamiento para investigar sobre el diseño de sistemas energéticos resilientes bajo en carbono.

La California Public Utilities Commission³² (CPUC) es la institución encargada de regular las empresas privadas de electricidad, gas natural, telecomunicaciones, agua, transporte ferroviario y transporte de pasajeros. La CPUC sirve al interés público al proteger a los consumidores y garantizar la provisión de infraestructura y servicios públicos seguros y confiables a tarifas justas y razonables, con el compromiso de mejorar el medio ambiente y una economía de California saludable.

³⁰ <https://climateresilience.ca.gov/>

³¹ https://climateresilience.ca.gov/overview/docs/20220404-CAS_Priorities_Goals_Actions.pdf

³² <https://data.ca.gov/organization/about/california-public-utilities-commission>



En 2018, la CPUC emitió la “Order Instituting Rulemaking” (R.18-04-019³³) para integrar los temas de adaptación al cambio climático en los procedimientos que regula la CPUC. Al respecto, en una primera etapa se emitieron dos “decisiones” que afectan al sector eléctrico y al sector del gas. Se espera que más adelante se emitan “decisiones” adicionales que afecten a otros sectores. La “Decision 19-10-054” define el concepto de adaptación al cambio climático para empresas del sector energía y define las fuentes de información y escenarios para los análisis de adaptación al cambio climático. La segunda, la “Decision 20 08-046”, establece como las empresas eléctricas y de gas deben incorporar medidas de adaptación al cambio climático en sus procesos de planificación. Las principales exigencias son las siguientes:

- 1) Identificar a las comunidades más vulnerables al cambio climático bajo los criterios establecidos por la CPUC,
- 2) Desarrollar un análisis de vulnerabilidad al cambio climático sobre las comunidades anteriormente identificadas cada 4 años,
- 3) Desarrollar un análisis de vulnerabilidad al cambio climático de manera general considerando los siguientes aspectos: 1) análisis del riesgo climático sobre las operaciones, servicios e infraestructura; 2) análisis de propuestas para abordar y mitigar los riesgos identificados; 3) análisis del riesgo climático sobre infraestructura que está bajo contrato con otras empresas; 4) Cubrir un horizonte de evaluación de 20 a 30 años; 5) Completar el plan cada 4 años.
- 4) Exige a las empresas contar con equipos o departamentos encargados de los temas de cambio climático.

La siguiente tabla muestra el cronograma de cumplimiento de los planes de adaptación anteriormente descritos. En una primera etapa se privilegia el desarrollo de los planes de adaptación sobre las comunidades más vulnerables. El “General Rate Case Filing” corresponde a los procedimientos para determinar los costos de operación y mantenimiento necesarios para tener un sistema resiliente y la asignación de esos costos entre los distintos tipos de clientes a través de las cuentas de electricidad o gas. En una primera etapa la CPUC debe aprobar la parte de los costos que deben financiar los usuarios finales y en una segunda etapa se determina cómo estos costos se distribuyen entre los distintos tipos de clientes.

Tabla 4.4: Cronograma de cumplimiento de los planes de adaptación.

Investor Owned Utility	Community Engagement Plan Filing	Vulnerability Assessment Filing	General Rate Case Filing
SCE	2021	2022	2023
PG&E	2023	2024	2025
SoCalGas/SDG&E	2024	2025	2026

³³ <https://docs.cpuc.ca.gov/SearchRes.aspx?DocFormat=ALL&DocID=213511543>



Con respecto al desarrollo de microrredes, en 2018 el estado de California aprobó la ley “Senate Bill No. 1339” (SB-1339) la cual reconoce una serie de beneficios de esta tecnología: mejora la autonomía energética, aumenta la resiliencia y se pueden obtener potenciales beneficios económicos para sus usuarios. En 2021 la CPUC aprobó el “Programa de Incentivos para Microrredes”³⁴ (Microgrid Incentive Program), con un presupuesto de \$200 millones, para financiar microrredes que permitieran respaldar las necesidades críticas de comunidades locales vulnerables afectadas por interrupciones de la red y probar nuevas tecnologías o enfoques regulatorios para informar acciones futuras. Los principales objetivos de este programa son:

- Mejorar la confiabilidad y resiliencia en comunidades que pueden tener un mayor riesgo de cortes de suministro eléctrico.
- Mejorar la confiabilidad de instalaciones de infraestructura crítica, como estaciones de bomberos, escuelas y hogares de ancianos.
- Reducir los impactos de los cortes de energía y minimización de las interrupciones para los hogares de bajos ingresos y personas electrodependientes.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el desarrollo de tecnologías limpias.

4.2.5 Elementos destacables de la revisión internacional

Los elementos destacables a partir de la revisión de regulación sobre resiliencia de Reino Unido, Japón, Alemania y California – Estados Unidos, son los siguientes:

- **Exigencias a las empresas eléctricas y de gas de desarrollar planes de adaptación y resiliencia.**
- Condicionamiento del desarrollo y diseño de nueva infraestructura, justificando su pertinencia en zonas de mayor vulnerabilidad a impactos del cambio climático.
- Desarrollo de procesos participativos con las comunidades más vulnerables.
- Existencia de fondos de financiamiento para mejorar la resiliencia de la infraestructura energética.
- **Definición de los escenarios climáticos a considerar en los análisis de vulnerabilidad de manera estandarizada.**
- **Mecanismo de transferencia de costos de la adaptación de infraestructura al usuario final.**
- Altos estándares de protección de infraestructura energética frente a eventos adversos de la naturaleza en emplazamientos costeros y marítimos.
- **Robustecimiento de las reservas estratégicas de combustibles.**
- **Incremento de capacidad sancionatoria a instituciones fiscalizadoras.**
- Fomento del Estado al desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza mediante asignación de presupuesto e inclusión en planes estratégicos.

34

<https://www.cpuc.ca.gov/resiliencyandmicrogrids#:~:text=In%20January%202021%2C%20the%20Commission,approaches%20to%20inform%20future%20action.>



- Desarrollo de recursos distribuidos y microrredes.

En negrilla se indican los casos que, por un lado, aparecen como más relevantes, simples e interesantes de implementar y, por el otro, podrían ser abordables parcial o totalmente desde la regulación del sector energético.

Algunas eventuales barreras o dificultades de implementar estos elementos regulatorios en Chile son las siguientes:

- Presupuesto para implementación de acciones y medidas.
- Impacto económico, como en el financiamiento de los proyectos y el aumento de las tarifas de usuarios finales.
- Voluntad política relacionada a los puntos anteriores.
- La opción de inacción por justificación de eventos como de fuerza mayor.
- En el caso de los recursos distribuidos y microrredes dificultan su desarrollo, adicional a los costos en ausencia de subsidios, las características de las redes de distribución nacionales y su tarificación. Se trata de redes en general pasivas (con muy bajos niveles de monitoreo y control automático), débiles en términos eléctricos y con baja capacidad para absorber generación distribuida sin tener que incurrir en adecuaciones costosas. Esto según se detalla en estudio reciente sobre la materia (Centro de Energía, 2023).

Por otro lado, se estima que existe en el país el capital humano necesario para la implementación de los elementos destacados.

Como mecanismos o formas de atenuar las barreras mencionadas destacan la identificación de costos por inacción e información con detalle local de los efectos de eventos extremos relacionados al cambio climático.

4.3 Discusión y Recomendaciones

No se identifican en la revisión internacional reglamentaciones específicas, a la fecha, que condicionen el desarrollo del sector eléctrico por el concepto de adaptación y resiliencia climática. No obstante, si se encuentran criterios asociados a confiabilidad, suficiencia y seguridad de suministro relacionando evento de desastres naturales históricos a este último, como en el caso de Japón. En este caso existe un tratamiento y enfoque diferenciado por tipo de evento, sin criterios generales, con evaluaciones y medidas específicas para cada uno.

Por otro lado, a nivel internacional no existe uniformidad de criterios asociados a suficiencia y seguridad aplicados en el sector eléctrico. Ejemplo de ello es la aplicación de criterios determinísticos del tipo N-k, donde los más usados son los N-1 y N-2, en el que algunos sistemas incluyen tanto las torres de transmisión como los transformadores. A esto se agrega que los criterios tampoco son uniformes dentro de un mismo sistema, es decir, hay diferencias por zona y nivel de tensión, en el que típicamente los estándares son más exigentes en los niveles más altos de tensión y zonas con cargas críticas.

En la definición de estándares de confiabilidad, y ahora de resiliencia, es necesario como primer paso definir sus métricas, para luego establecer umbrales de aceptación en una lógica de riesgo. Entre ellos se distinguen los enfoques probabilísticos y los determinísticos. En los primeros se



establecen métricas y umbrales basados en la caracterización de los fenómenos estocásticos involucrados, con ejemplos como la probabilidad de pérdida de carga (LOLP), la energía esperada no suministrada (LOLE) o el índice de duración promedio de interrupciones (SAIDI). En el segundo, se establecen escenarios o situaciones prestablecidas que el sistema debe soportar con mínima o nula pérdida de carga, con ejemplos en el criterio N-1 y las pruebas de estabilidad de respuesta frente a contingencias. En todos los casos, se deben hacer las evaluaciones respectivas que permitan dimensionar el impacto económico de los umbrales.

Cabe destacar el habitual conflicto existente entre confiabilidad y calidad de suministro, ahora más resiliencia, con el de eficiencia económica y tarifa de bajo costo; al igual que las dificultades prácticas para hacer las evaluaciones de contraste entre ambos derivados del análisis de riesgo subyacente. Para atenuarlo se deben propiciar directrices claras y metodologías precisas. Un ejemplo de ello a nivel nacional son el uso de, por un lado, estándar de seguridad (enfoque determinístico) como la aplicación del criterio N-1 para la transmisión nacional, versus el de costo esperado de falla de corta duración (probabilístico) en la determinación de refuerzos del sistema de transmisión zonal. En este sentido, el sector eléctrico nacional ha ido elevando progresivamente sus estándares de confiabilidad en transmisión, conforme el país se desarrolla, con directrices establecidas principalmente a nivel normativo.

En lo relativo a características de la infraestructura misma de transporte de energía eléctrica cabe mencionar la necesidad de revisar y adaptar lo siguiente:

- Definición de áreas típicas y bases de estudios de valor agregado de distribución para ajustar las necesidades de infraestructura adicional a los nuevos estándares derivado de las metas de la PEN.
- De igual forma, las bases de licitación de obras de transmisión.

Complementariamente, en conjunto con cualquier análisis de confiabilidad de suministro, deben estudiarse las interdependencias entre cadenas de suministro de energía y otros sectores como lo son las de gas, combustibles líquidos, electricidad, comunicaciones, centros de procesamiento de datos y control, puertos, caminos y manejo de stock, entre otros. En este sentido, los avances realizados en la identificación de infraestructura crítica en el contexto de posibles atentados, constituyen un buen punto de partida a considerar.

Otras recomendaciones son las siguientes:

- Adaptación y resiliencia al CC como parte de las obligaciones, por seguridad, de los coordinados del sector eléctrico. Para ello no se requieren cambios reglamentarios. No obstante, ante la necesidad de ser explícitos como sugiere el PdL de Transición, se sugeriría agregar los términos adaptación y resiliencia al CC junto a las menciones a la confiabilidad (suficiencia y/o seguridad).
- Agregar consideraciones de adaptación y resiliencia en el reglamento de Potencia de Suficiencia y planificación de la Transmisión, en particular en lo relativo al tratamiento de la estadística histórica (Ej. Caudales, tasas de falla, puntas de demanda) y eventos naturales en las metodologías reglamentarias.
- Permitir la formación de islas de suministro (NT SyCS) a nivel de macrozona, zona y local (NTCO PMGD).

- Promover la suficiencia de generación en los mismos niveles anteriores, la diversidad de la matriz en términos de las fuentes de energía y evitando su concentración territorial. Revisar, en este contexto, la noción de polos de desarrollo.
- Evaluar el desarrollo de corredores paralelos, ej. por la costa, de la transmisión nacional, buscando mayores niveles de redundancia y enmallamiento. Promover en este sentido el desarrollo de estudios para dimensionar costo beneficio de criterios y umbrales de aceptación.
- Abordar la necesidad de caracterizar costos de falla total, o interrupción, de suministro de larga y muy larga duración, como resultado de eventos extremos y dificultades en la recuperación del servicio.
- Estudiar las implicancias y aplicabilidad del concepto de “fuerza mayor”, del marco jurídico nacional, en el sector energético. Esto, considerando lo que se conoce y puede prever de los efectos del CC en el país.
- Adecuar las estadísticas históricas en general usadas en los análisis del sector energético (Ej. energía primaria, fallas de equipamiento, frecuencia de eventos adversos) a los efectos del cambio climático. La reducción a los años más recientes de la estadística hidrológica en uso en las planificaciones del sector eléctrico (corto y largo plazo) son un avance en esta materia.

Si bien el concepto de resiliencia ha adquirido gran preponderancia reciente producto de la crisis climática, la temática es anterior, como parte de los análisis de catástrofes abordadas bajo la lógica de confiabilidad. Así, no existe consenso en el mundo respecto de cómo medirla ni de metodologías estándar para abordarla (Bhusal 2020). Por su parte, en la revisión internacional no se identificaron metodologías explícitas para la integración de resiliencia en la planificación de los sistemas. Así, no se cuenta con evidencia clara que permitan establecer recomendaciones específicas para la integración de resiliencia climática en el reglamento de planificación de la transmisión. Más aún, considerando sus implicancias.

Por lo anterior, se recomienda la realización de estudios necesarios para avanzar en la materia, entendiendo su complejidad y limitaciones prácticas (Chattopdhyay, 2022) partiendo por las de información (eventos, costos directos e indirectos, acciones, etc.) y enfoque (local, zonal, nacional, independiente, integrado, etc.). En este sentido el trabajo de Hernández, 2022 es un avance a nivel nacional. Por otro lado, durante las entrevistas se mencionó que estaba en desarrollo un estudio para el regulador sobre metodologías y criterios de integración de resiliencia en el sector eléctrico.

Cabe destacar también que, históricamente en el sector eléctrico chileno, los criterios de seguridad de suministro se han tratado a nivel normativo (NT SyCS), presumiblemente, por cuestiones prácticas del regulador.

Siguiendo el precedente del PdL de Transición el concepto de resiliencia debería añadirse en cada artículo donde figura el de seguridad en la LGSE, como se identificó en la sección 5.1.1. Por su parte, en la reglamentación de la planificación de la transmisión se proponen los siguientes ajustes:

- Artículo 71.- párrafo a. Agregar al final: “impactos proyectados del cambio climático;”.



- Artículo 89.- párrafo 4°. Agregar al final: Para ello, la Comisión podrá considerar antecedentes tales como ... y demanda “, contemplando los efectos del cambio climático”.
- Artículo 92.- párrafo 1°. Agregar al final: que consideren los impactos proyectados del cambio climático.
- Artículo 128.- párrafo final. Agregar antes de ofertas. “incorporar en el diseño, construcción y operación la adaptación y resiliencia al cambio climático.”

Por el lado de la resiliencia energética de combustibles, ésta ya ha sido analizada en estudios previos en el contexto de seguridad, por ejemplo, en (DICTUC, 2019), y las recomendaciones allí formuladas respecto de la necesidad de ampliar la capacidad de almacenamiento nacional y zonal siguen igualmente válidas.

5 Pilotos y meta sectorial

5.1 Propuesta de pilotos

En esta sección se presenta la selección y descripción de pilotos acordados con la contraparte técnica del estudio. Ellos corresponden a una experiencia en Distribución “Formación de islas con PMGD” y otra en puestos relacionada con hidrocarburos “Obras de abrigo en bahía de Quintero”.

5.1.1 Formación de islas con PMGD

El objetivo de esta propuesta es mejorar la confiabilidad de suministro a nivel de distribución, independientemente de si las causas que atentan contra ésta son o no de origen en eventos extremos asociados a cambio climático. Esta idea fue presentada al MEN por el CE en el contexto de un trabajo previo sobre medios distribuidos (Centro de Energía, 2023). Se plantea que, frente a fallas en el suministro desde el SEN (ya sea a nivel de sistema nacional, o zonal de transmisión), permitir y fomentar que el PMGD (Pequeño Medio de Generación en Distribución) suministre la demanda del alimentador de distribución al cual se conecta y toda o parte de la demanda de la distribuidora conectada a la misma subestación primaria. La lógica detrás de fomentar este tipo de iniciativas podría entenderse como una compensación por el uso de la capacidad de distribución. **Su aplicabilidad directa se reduce a aquellos casos en que el tamaño del PMGD es relativamente mayor al del máximo consumo objetivo.** En caso contrario, es necesario implementar esquemas de desconexión de consumos que, por ejemplo, dejar sólo aquellos más críticos o que estén dispuestos a un pago adicional por mayor seguridad de suministro. Lo propuesto constituye un caso particular de microrred, que permite aprovechar tanto la infraestructura como reglamentación vigente en el país que permite mejorar también la resiliencia climática del servicio eléctrico.

La propuesta se refiere a la conformación de una microrred abastecida desde un PMGD que podría cubrir, desde el alimentador al cual se conecta, a parte o toda la demanda de la distribuidora. Esto ya sea en el mismo alimentador u otros adicionales conectados en la misma subestación primaria. La idea es crear un conjunto de clientes suministrables cuya demanda conjunta pueda ser suministrada por el PMGD. La propuesta, en su forma más gruesa, conforma de las siguientes componentes:

- **Modelo de negocio:** distribuidor y PMGD conforman un servicio adicional de respaldo de suministro frente a fallos del SEN³⁵. Este servicio contiene el valor de mejorar la continuidad de suministro de los clientes que se acojan al servicio. Estos últimos tendrían la opción de contratar este servicio adicional, para formar parte de la microrred

³⁵ También serviría para casos en que el fallo sea dentro de la red de distribución ya sea con o sin causal de fuerza mayor. No obstante, la idea de centrar la discusión desde fallos del SEN es para limitar la necesidad de equipamiento adicional para seccionar alimentadores, para medición y control en la red de distribución.

por una tarifa extra, o bien permanecer sin suministro mientras dure la falla desde el SEN.

- **Costo base (Equipamiento adicional):** tanto a nivel de distribución como a nivel del PMGD, se debe dimensionar el equipamiento, comunicaciones y automatismos para habilitar la microrred. Sobre esta base se determina el costo base del proyecto.
- **Tarifa de microrred:** en función del costo de equipamiento adicional y número de clientes dispuestos a formar parte del esquema se dimensiona una tarifa de microrred de respaldo. El número de clientes dispuestos dependerá de cuán atractivo sea la relación precio valor del servicio y la capacidad de pago de los clientes en distribución.
- **Incentivo para distribuidor:** lo propuesto constituye un negocio adicional para la distribuidora que podría resultar atractivo. Dada su naturaleza, el negocio podría equilibrarse por simple oferta/demanda sin necesidad de incorporar directamente al regulador. Esto es, la respuesta de los clientes se estima bastante elástica al precio por lo que hay menor espacio de abuso por parte de la distribuidora.
- **Incentivo para el PMGD:** el generador podría continuar suministrando y vendiendo energía sin interrupción, como si siguiera conectado al SEN. Adicionalmente, podría analizarse un cargo adicional en la energía inyectada a cobrar en la tarifa si se estima que el incentivo no es suficiente.
- **Incentivo para la demanda:** mejorar su continuidad de suministro y capacidad de resiliencia, particularmente en zonas donde el sistema de transmisión presenta mayor número de fallas o debilidades.
- **Requerimientos de red:** dada la naturaleza de implementación de la microrred propuesta se requiere de una red de distribución activa, idealmente con DSO y con la posibilidad de desconectar/medir consumos en forma automática y remota ya sea en forma agregada (transformador de distribución) o individual (cliente, medidor inteligente).

La propuesta se plantea solo a nivel conceptual, existiendo muchos detalles técnicos y normativos por resolver. No obstante, aparece como el esquema más económico para la integración de las primeras microrredes en distribución en Chile al aprovechar sinergias e infraestructura existente de generación en distribución de gran tamaño relativo con menores costos de coordinación.

En las condiciones actuales de la regulación eléctrica lo planteado sólo sería viable tanto si la empresa distribuidora como el PMGD lo evalúan como un negocio atractivo y se implementan medidores inteligentes en los consumos para el caso más complejo de implementación. Asimismo, es necesario adecuar la participación del PMGD en el mercado de corto plazo y la normativa sobre requerimientos técnicos que exigiría el Coordinador para la formación de islas (NTSyCS, títulos 7-4 y 7-6).

5.1.1.1 Selección de ubicación de piloto

Para seleccionar la ubicación del proyecto piloto se solicitó a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles el catastro de las centrales PMGD actualmente en operación en el país. Con esta

información el equipo consultor determinará la ubicación idónea para el proyecto con los criterios que se comentarán en esta sección.

De la información recibida se tiene un total de 621 centrales PMGD actualmente en operación totalizando 2.700 MW de potencia instalada, siendo en su mayoría proyectos fotovoltaicos. La desagregación por potencia instalada se muestra en la Figura 5.1:

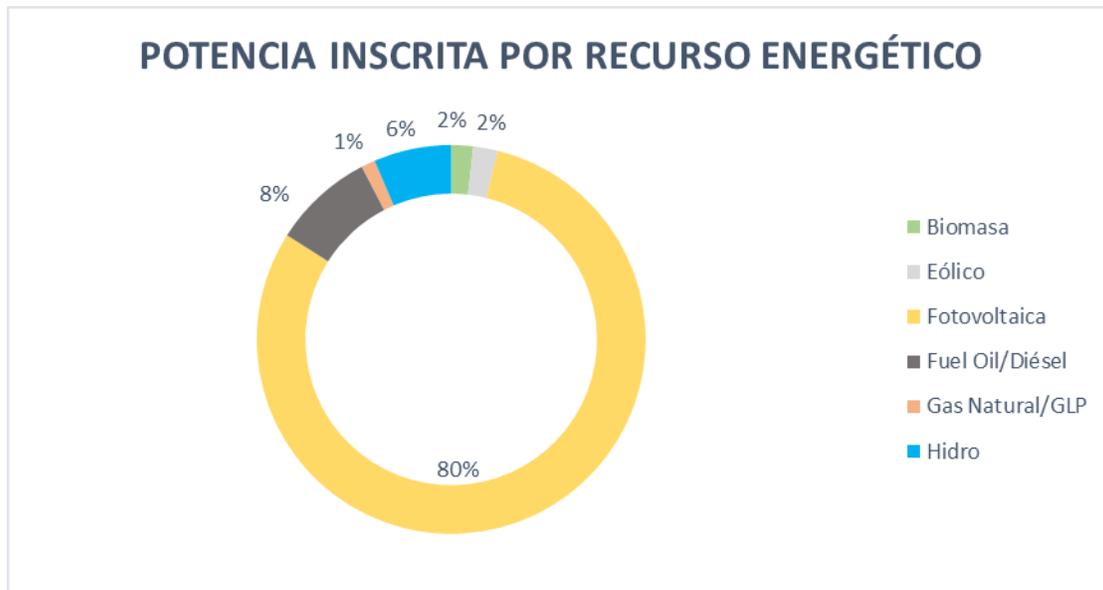


Figura 5.1: Potencia instalada PMGD por tipo de tecnología. Fuente: SEC

Y su distribución geográfica se muestra en Figura 5.2:

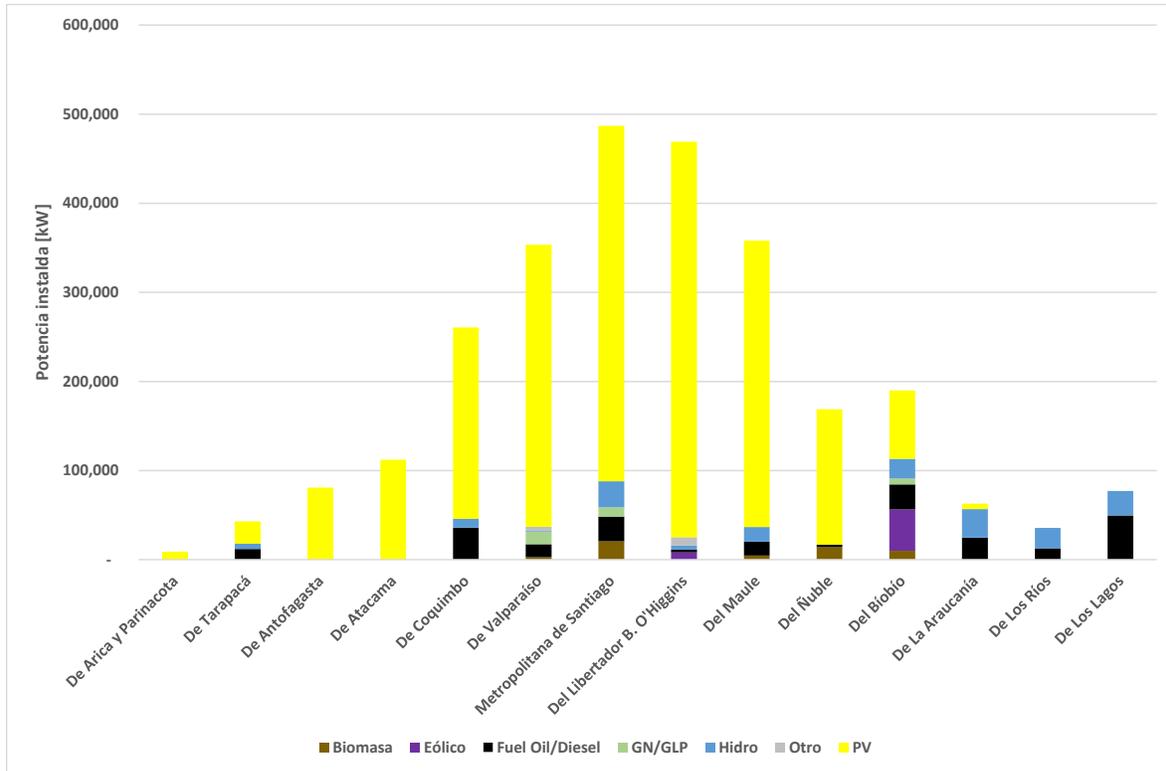


Figura 5.2: Potencia instalada PMGD por tipo de tecnología y región. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC

De los gráficos mostrados se puede observar que la mayoría de los proyectos se ubican en la zona central del país y son del tipo fotovoltaico. En tanto, en la zona sur del país existen principalmente centrales hidroeléctricas y térmicas. El primer criterio utilizado para ponderar la mejor ubicación del piloto es una tecnología que utilice recursos locales y permita abastecer la demanda de la microrred durante la mayor parte del año. Con esos requisitos se llega a la conclusión que la tecnología hidroeléctrica es la más adecuada para el proyecto piloto. Por lo tanto, con estos antecedentes, se prioriza esta tecnología por sobre las otras. Si bien, la tecnología PV permitiría desarrollar soluciones en microrredes, estas requieren inversiones adicionales en tecnologías de almacenamiento e inversores para formar red, por lo que no se priorizarán este tipo de soluciones en este piloto. Una ventaja de la tecnología PV es que puede ser instalada en cualquier lugar con suficiente radiación solar, en cambio la tecnología hidroeléctrica requiere cercanía este recurso en particular. Esto permitiría, eventualmente, escalar el proyecto en caso de que necesite ampliar la capacidad instalada de PMGD. Cabe recalcar que la elección de la tecnología como piloto se realiza de tal forma de minimizar costos adicionales de inversión, la tecnología PV es técnica y económicamente viable para este tipo de soluciones sin embargo requiere inversiones adicionales en almacenamiento y tecnologías para su operación.

Del análisis en detalle de los PMGD del tipo hidro se puede observar que la mayoría de estos proyectos se ubican en el sur del país y en la región metropolitana, por lo que el siguiente criterio utilizado consiste en priorizar aquellos proyectos que sean capaces de abastecer la demanda de la subestación primaria a la cual está conectada. Un resumen de este análisis se muestra en

la Figura 5.3. En el gráfico se muestra en azul la potencia instalada hidroeléctrica a cada una de las SSEE y la demanda punta del año 2022 utilizando los datos de las ventas de energía del Coordinador Eléctrico Nacional. Idealmente el piloto debe estar donde la barra azul sea mayor a la barra naranja, de tal forma que el piloto no requiera inversiones adicionales en generación. Del gráfico se ve que Chonchi, Chirre, Cunco y El Avellano cumplen estas condiciones, ya que eventualmente el dimensionamiento de las centrales ya existentes cubriría la demanda punta.

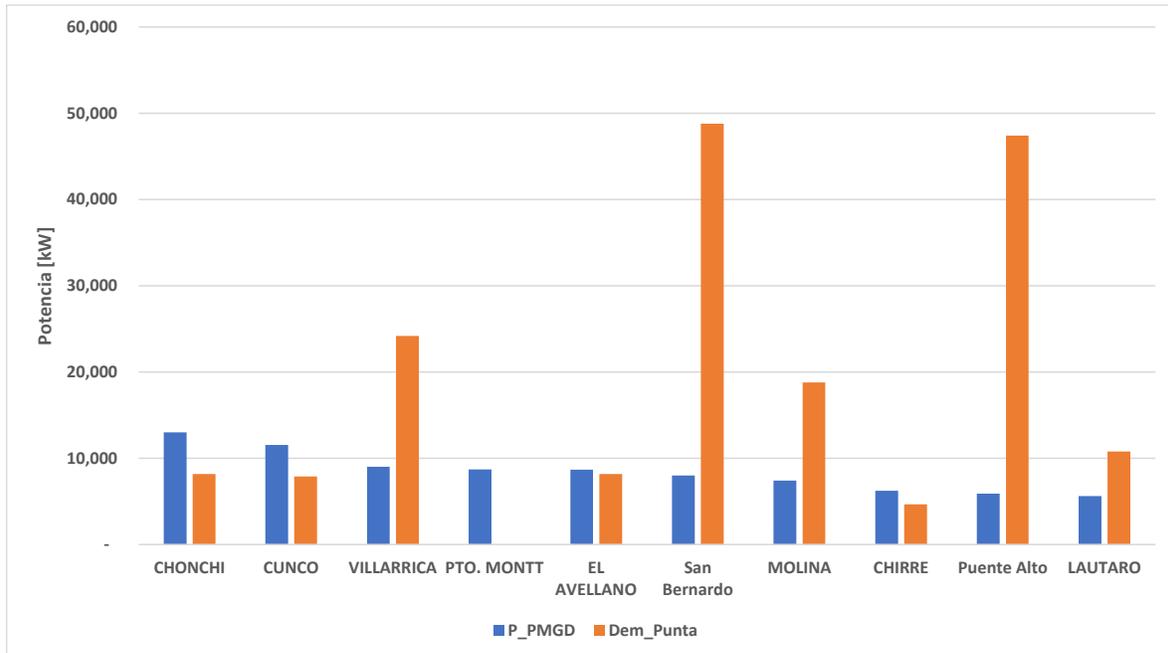


Figura 5.3: Potencia instalada hidroeléctrica PMGD y demanda punta del año 2022 por S/E primaria. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC y Coordinador Eléctrico

Finalmente, se privilegiarán ubicaciones donde exista una sola central en el alimentador, ya que esto reduciría tanto los costos como las complejidades asociadas a la necesidad de coordinación entre 2 o más centrales. En la figura de abajo se grafica el número de centrales por alimentador, destacándose algunas de las centrales mencionadas anteriormente como posibles candidatas. De la Figura 5.4 se muestra que la subestación primaria Chonchi cumple con los criterios ya mencionados, por lo que se propone como primera opción para el estudio del piloto. En el gráfico además se destaca Chirre (amarillo), Cunco (naranja) y Chonchi (verde) como potenciales candidatas.

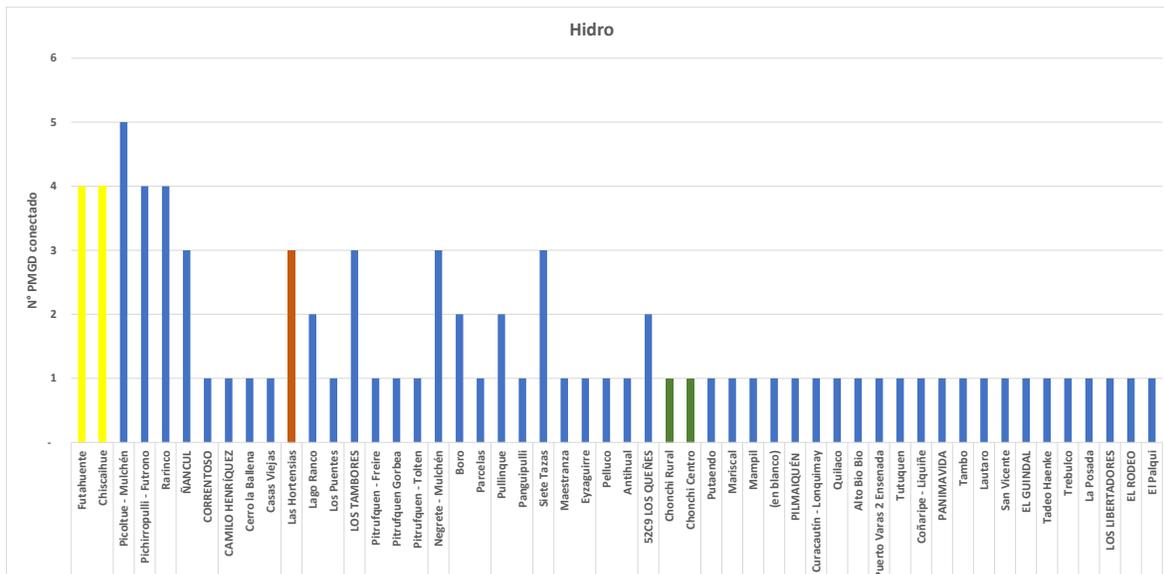


Figura 5.4: Número de centrales hidroeléctricas PMGD por alimentador, destacándose potenciales ubicaciones candidatas. Fuente: Elaboración propia con datos de SEC

Antecedentes de locación escogida:

- Ubicación en SEN: S/E Chonchi, Región de los Lagos
- PMGDs:
 - Dongo: Hidro 6 MW conectada a alimentador Chonchi Centro.
 - Collilil: Hidro 7 MW conectada a alimentador Chonchi Rural.
- Demanda Punta 2022 en la S/E: 8,16 MW

Como antecedentes adicionales, que refuerzan la elección de la localidad para el piloto, se presentan notas de prensa con interrupciones de suministro en esta zona del país, mostrándose que existe una fragilidad del sistema eléctrico en la zona ante eventos climáticos extremos como tormentas y temporales.^{36 37 38}

³⁶ <https://www.elcalbucano.cl/2023/05/saesa-trabaja-intensamente-en-la-reposicion-del-suministro-electrico-tras-paso-de-sistema-frontal-en-la-provincia-de-chiloe/>

³⁷ <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-los-lagos/2021/04/30/investigacion-corte-de-luz-que-dejo-a-mas-de-21-mil-clientes-sin-servicio-en-cuatro-comunas-de-chiloe.shtml>

³⁸ <https://laopiniondechiloe.cl/8-500-viviendas-sin-energia-electrica-en-chonchi-y-quellon-dejo-tormenta/>

SAESA TRABAJA INTENSAMENTE EN LA REPOSICIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO TRAS PASO DE SISTEMA FRONTAL EN LA PROVINCIA DE CHILOÉ

25 Mayo, 2023  0

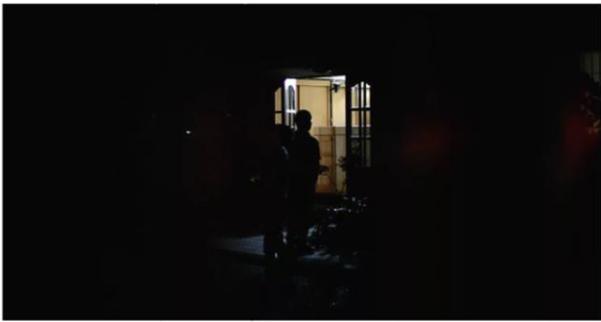
- *En la isla, las comunas que más se han visto afectadas por cortes de energía han sido Ancud, Castro, Chonchi, Queilen y Quellón.*

Tras las interrupciones en el servicio eléctrico luego del Sistema Frontal que ingresó el lunes 22 de mayo con tormenta eléctrica, fuertes lluvias y vientos sobre los 90 km por hora en la isla de Chiloé, personal de Saesa se encuentra trabajando con refuerzos en los equipos de brigadas de operaciones, personal logístico y de atención al cliente, con el objetivo de reponer el suministro en los diversos sectores que se encuentran afectados.

Investigan corte de luz que dejó a más de 21 mil clientes sin servicio en cuatro comunas de Chiloé

Publicado por Manuel Stuardo
 La información es de Henry Burrows

Viernes 30 abril de 2021 | 14:51 [Leer más tarde](#)



 Contexto | Agencia UNO 645 visitas

En investigación está el corte de energía eléctrica que afectó a más de 21 mil clientes en cuatro comunas de Chiloé.

Una falla en la línea de transmisión Castro-Chonchi generó un corte de suministro en Chonchi, Pumehdón, Queilen y Quellón que afectó a 21 mil 000 clientes.

Figura 5.5: Recortes de prensa sobre cortes de suministro en Chonchi y Quellón 1, 2.



Figura 5.6: Recortes de prensa sobre cortes de suministro en Chonchi y Quellón 3.

5.1.1.2 Ficha de proyecto piloto

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales antecedentes y beneficios esperados del proyecto.

Nombre	Operación en isla mediante PMGD en la localidad de Chonchi.
Objetivo	Mejorar la confiabilidad de suministro en distribución en localidades expuestas a eventos extremos asociadas a cambio climático.
Fuentes de financiamiento	La fuente de financiamiento y modelo de negocio fueron descritos anteriormente en la descripción del proyecto.
Stakeholders	Compañía distribuidora, Coordinador Eléctrico, propietarias de centrales PMGD.
Localización	Comuna de Chonchi, Región de los Lagos
Antecedentes	Detalle de los antecedentes fueron descritos con detalle en esta sección.
Componentes del proyecto	El proyecto lo conforma una red de distribución activa, idealmente con DSO y con la posibilidad de desconectar/medir consumos en forma

	automática y remota ya sea en forma agregada (transformador de distribución) o individual (cliente, medidor inteligente)
Beneficios del proyecto	Recuperación del suministro eléctrico ante eventuales desconexiones del sistema eléctrico nacional debido a condiciones climáticas adversas. Esto tiene efectos positivos directos en la calidad de vida de las comunidades locales y la actividad económica de la zona.
Aporte a la adaptación	El piloto propuesto permitirá suministrar temporalmente de electricidad a la localidad del piloto en condiciones de emergencia climática y desconexión de la localidad al resto de red eléctrica nacional.
Enfoque de género, derechos humanos, territorial y de pueblos originarios	<p>Las infraestructuras resistentes al clima tienen una importante dimensión de género. El piloto permitiría mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comuna, contribuyendo a la corresponsabilidad y equidad de género de la localidad.</p> <p>Se alinea con el artículo 25 de la declaración de DDHH de Naciones Unidas, donde se incluiría el suministro energético en los servicios sociales necesarios de las personas: "Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesario."</p> <p>También está concebido de tal forma de ser un aporte a la resiliencia en el suministro de la localidad utilizando los recursos naturales locales (hidroelectricidad), fortaleciendo las actividades económicas de la zona.</p> <p>Los pueblos originarios y habitantes en general de la comuna se verían beneficiados directamente por la solución propuesta. Esto fortalecería la resiliencia del suministro eléctrico a pesar de ser una zona propensa al clima adverso y la fragilidad de la red eléctrica.</p>

5.1.2 Obras de abrigo en bahía de Quintero

El piloto consiste en aplicar el Marco de Gestión Adaptativo (Port of San Diego, 2019) en los puertos existentes de las comunas de Quintero y Puchuncaví. Se tiene como misión abordar la resiliencia y adaptación de la infraestructura portuaria, con especial dedicación en contribuir con el Plan de Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de Quintero y Puchuncaví (Ministerio del Medio Ambiente, 2017) y la descarbonización de la matriz energética nacional.

El objetivo principal del piloto es identificar oportunidades de desarrollo portuario resiliente a los efectos del cambio climático, mediante la aplicación del Marco de Gestión Adaptativo en los puertos de Quintero y Puchuncaví.

Los objetivos específicos son:

1. Reconocer instalaciones, empresas y comunidades presentes en la zona portuaria, junto a las motivaciones e intereses de cada sector.
2. Proponer estrategias de adaptación acorde a las características de la zona costera y puertos existentes.
3. Identificar barreras y oportunidades de las posibles estrategias de adaptación.
4. Disponer de fuentes de información e indicadores de monitoreo que aporten al Marco de Gestión Adaptativo de la zona.
5. Reconocer beneficios directos e indirectos de la aplicación de estrategias de adaptación en la zona.

Para la implementación del piloto se escoge la zona portuaria de las comunas de Quintero y Puchuncaví, es decir, la Bahía de Quintero. Una bahía corresponde a una extensión de agua parcialmente rodeada por tierra, con una entrada más amplia que una ensenada pero menos amplia que un golfo.



Figura 5.7: Bahía de Quintero. Fuente: (GNL Quintero, 2021).

Las características de una bahía permiten un desembarque en aguas tranquilas. No obstante, la Bahía de Quintero igualmente ha estado sujeto a cierre de puertos por marejadas. Los años 2021 y 2022, el puerto Ventanas registró poco más de 120 días de cierre en el año producto de este fenómeno.

En la Figura 5.8 presente a continuación se presenta la profundidad del suelo marino por zonas. Los extremos de los muelles tienen profundidades de al menos 10 metros, siendo el terminal de GNL Quintero el muelle de mayor profundidad con 24 metros.



Figura 5.8: Mapa de sensibilidad en la Bahía de Quintero. Fuente: (Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, 2004).

Se identifican las siguientes partes involucradas:

1. Sector productivo (ver Figura 5.9): la bahía de Quintero se caracteriza por el desarrollo industrial en áreas como generación eléctrica, minería, combustibles, transporte marítimo y cemento. Las empresas presentes son: AES Gener (central Ventanas 1 retirada, central Ventanas 2 próxima a ser retirada y central Nueva Ventanas), Catamutun, Cementos Biobío, Puerto Ventanas (puerto de productos graneleros), Codelco (cierre de fundición en mayo de 2023 y refinería con plan de mejora), Gasmar, Oxiquim, Enap, Epoxa, GNL Quintero, Shell, Copec y Endesa/Enel (central Quintero).

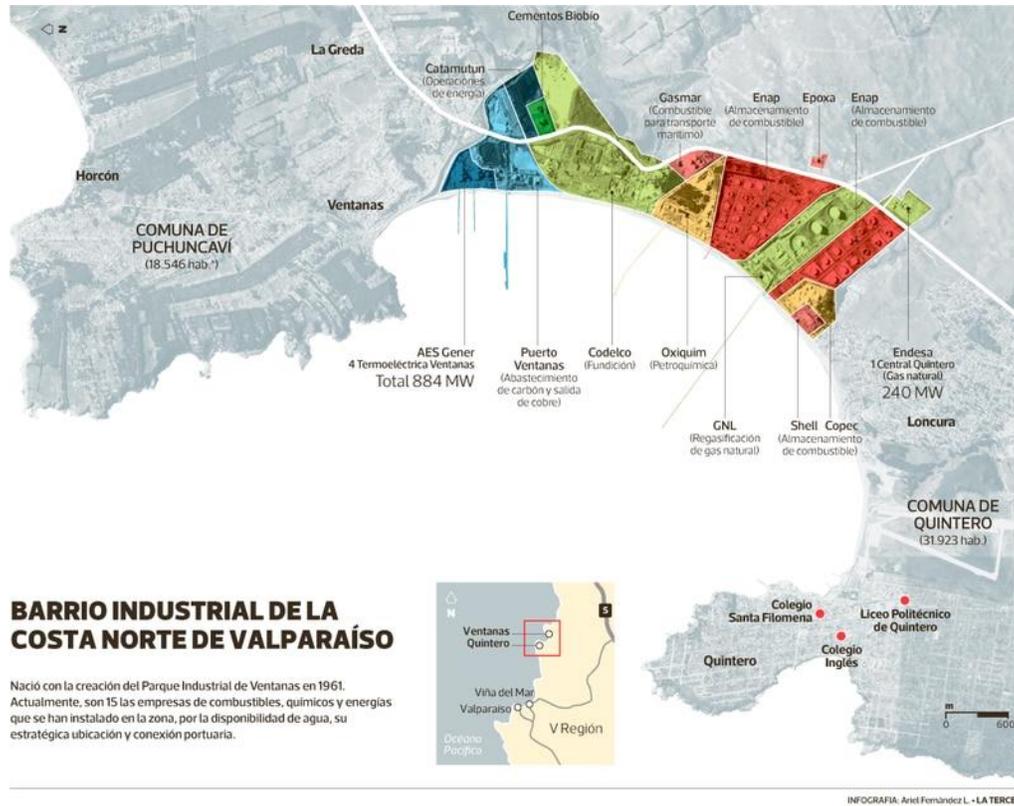


Figura 5.9: Barrio industrial de la costa norte de Valparaíso. Fuente: La Tercera.

También pertenecen al sector productivo las empresas de turismo, comercio y agrícola, pesca artesanal (Caleta Ventanas) y sindicatos de trabajadores.

1. Estado: SEREMI (MMA, MOP, MINSAL, M Energía, MHacienda, MINVU, entre otros), municipalidades de Quintero y Puchuncaví, y Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).
2. Sociedad civil: organizaciones territoriales, organizaciones funcionales, organizaciones ambientales, asentamientos urbanos (ver Figura 5.10 a continuación).



Figura 5.10: Principales asentamientos urbanos zona Quintero Puchuncaví. Fuente: (Fernández, 2007).

Antecedentes de la ubicación propuesta

Se identifican al menos 3 antecedentes clave respecto de la ubicación, historia y futuro de la Bahía de Quintero.

1. Daño social y ambiental

El desarrollo industrial en la zona trajo consigo daños ambientales y sociales de gran magnitud producto de las emisiones de material particulado, gases tóxicos y vertimiento de elementos contaminantes. El malestar social y eventos críticos derivó en una serie de medidas para reparar y mitigar la contaminación del territorio.

El Plan de Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de Quintero y Puchuncaví es una estrategia de intervención multisectorial construida en forma participativa desde su diseño. Tiene como fin impulsar el desarrollo ambientalmente sustentable de las comunas señaladas, demostrando que es posible la convivencia respetuosa entre las actividades industriales, el cuidado del medio ambiente y la salud de las personas (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

Se destacan los siguientes objetivos presentes en el PRAS de Quintero y Puchuncaví:

- a. Objetivo C.1: Alcanzar una buena calidad del medio marino que permita diferentes usos (productivos, recreación, salud).
- b. Objetivo C.1.3: Desarrollar un estudio de factibilidad para la remediación de sedimentos en áreas con acumulación de contaminantes.
- c. Objetivo C.2: Asegurar estándares de infraestructura y procesos industriales seguros para la biodiversidad marina.

2. Suministro clave de combustibles

El suministro de combustibles a la cuenca de Santiago se realiza principalmente mediante oleoducto desde las comunas de Concón y Quintero hacia la comuna de Maipú. El cierre de puertos y la capacidad actual de almacenamiento en la zona de Quintero puede significar indisponibilidad de combustibles en la capital.

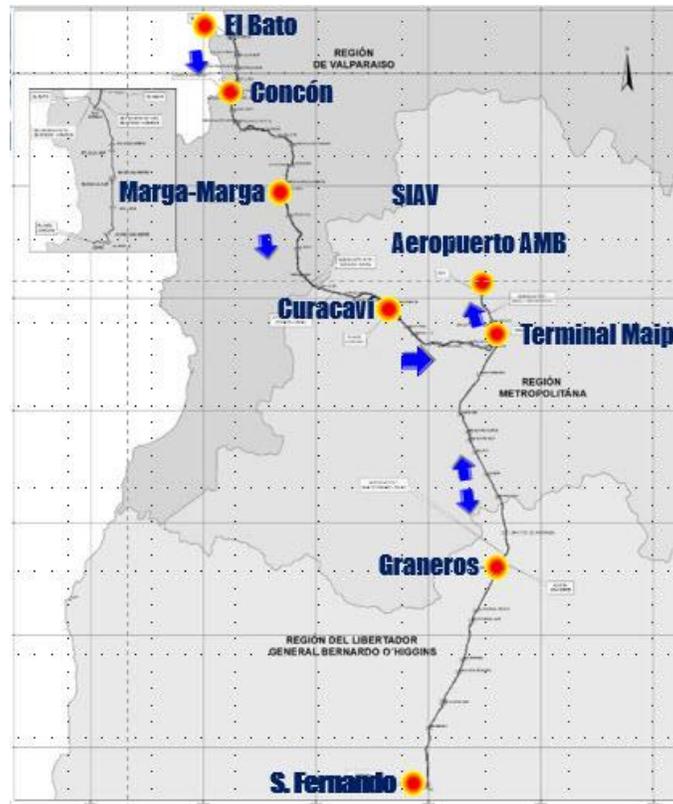


Figura 5.11: Infraestructura de ductos de la Sociedad Nacional de Oleoductos (Sonacol).
 Fuente: (Sonacol, 2018).

Otra opción de suministro en la zona centro sur proviene de la región del Bio bío, mediante gasoductos que cruzan varios caudales de ríos, los cuales se profundizan o enanchan durante grandes precipitaciones. A su vez, los incendios forestales en la zona calientan el suelo y por tanto modifican la operación de la infraestructura

3. Gas Natural, transición energética e hidrógeno verde



El retiro de centrales a carbón y el aumento de las centrales renovables como solar y eólica exigen al sistema un mayor protagonismo de las centrales a gas e hidráulicas para proveer suministro en horas de la noche e inercia durante todo el día. La zona industrial de Quintero tiene una central a gas (central Quintero) y es una vía de acceso al transporte de gas para la zona centro del país.

Por otra parte, el proyecto “Hidrógeno Verde Bahía Quintero” contempla la producción de hidrógeno con un electrolizador de 10 MW, produciendo 500 ton/año a partir de agua y electricidad desde la red. Este hidrógeno sería utilizado dentro de la zona industrial y mediante *blending* con gas natural.

El proyecto es una alianza entre GNL Quintero, Acciona y Enagás, y recibe financiamiento parcial de CORFO, por un monto de 5,7 millones de dólares, de un total aproximado de 30 millones.

Componentes del proyecto

A continuación, se presentan las componentes del proyecto según la estructura del Marco de Gestión Adaptativo (Port of San Diego, 2019).

1. Evaluación de vulnerabilidad

En contexto de infraestructura energética, la principal vulnerabilidad climática corresponde a las marejadas en los puertos de la Bahía de Quintero. Por ejemplo, en las memorias de 2021 y 2022 del Puerto Ventanas, ubicado en la zona, se mencionan horas de cierre producto de marejadas mayores a 120 horas al año.

Según ARCLIM, la Bahía de Quintero presenta el indicador máximo en amenaza de cambio en el régimen del oleaje (marejadas), expresado en términos de probabilidad; sensibilidad del número de horas de cierre de puerto entre 2008-2017 por condiciones del mar; y riesgo de aumento del *downtime* (o tiempo de descarga) de naves mayores, calculado en la bocana de los puertos. A su vez, identifica una alta cantidad de combustibles descargados en cada puerto, y un alto índice de capacidad adaptativa de almacenamiento de combustibles. Este último indicador si bien es positivo y responde a la infraestructura existente, vería limitada su aplicación de adaptación si no tiene la aprobación de la participación ciudadana.

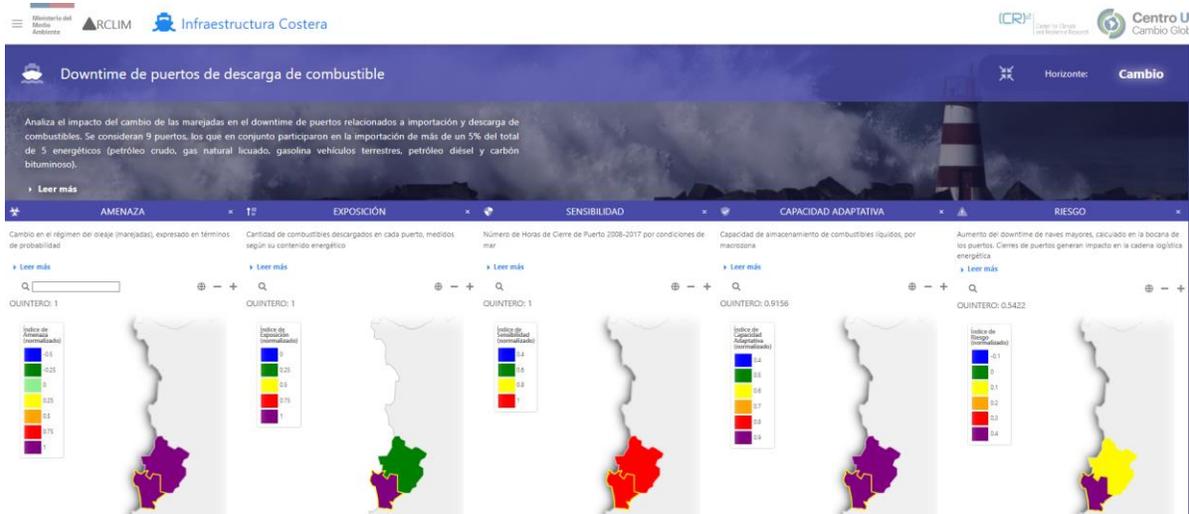


Figura 5.12: Indicadores de impacto del cambio de las marejadas en la zona de Quintero.
Fuente: ARCLIM – Infraestructura Costera.

2. Plan de adaptación

Considerando la infraestructura existente, el tipo de bahía y los antecedentes de la localización, las estrategias de obras de abrigo para reducir el efecto de las marejadas al interior de la bahía consideradas son:

- Rompeolas de gravedad: corresponde a diques verticales, en talud o mixtos. Los diques verticales son estructuras constituidas por una pared vertical apoyado sobre una banqueta (cimentación). Los diques en talud se componen por un núcleo de baja porosidad protegida por uno o varios mantos hacia el exterior. Los diques mixtos son la combinación de las estructuras anteriores: presentan un talud o dique en marea baja, y una muralla o pared en marea alta (MOP, 2013).
- Rompeolas flotante: corresponde a una estructura sujeta al suelo marino que permite atenuar las olas. Tiene un efecto principalmente superficial y depende considerablemente de la profundidad del suelo marino. Requiere menor cantidad de obras.



Figura 5.13: Rompeolas flotante. Fuente: (MOP, 2013).

- Rompeolas exento: son rompeolas orientados aproximadamente paralelos a la costa. Es el caso de los puertos de Genova (Italia) y Marsella (Francia). Cabe destacar que el Puerto de Genova está en proceso de construcción de un nuevo dique con profundidad de 50 metros al fondo marino, longitud de 6.200 metros, y considera el material rocoso obtenido del desmantelamiento de presa existente (Agenzia Nova, 2023).



Figura 5.14: Puerto de Génova, rompeolas en paralelo. Fuente: PortalPortuario.

- Rompeolas de arena (Bart-Jan van der Spek, 2020): corresponde a una innovadora solución basada en la naturaleza, donde se extiende una zona costera del tipo playa para formar un rompeolas o se construye un puerto dentro de una zona costera (ver Figura 5.15 y Figura 5.16 a continuación).



Figura 5.15: Rompeolas de arena en Lekki, Nigeria.

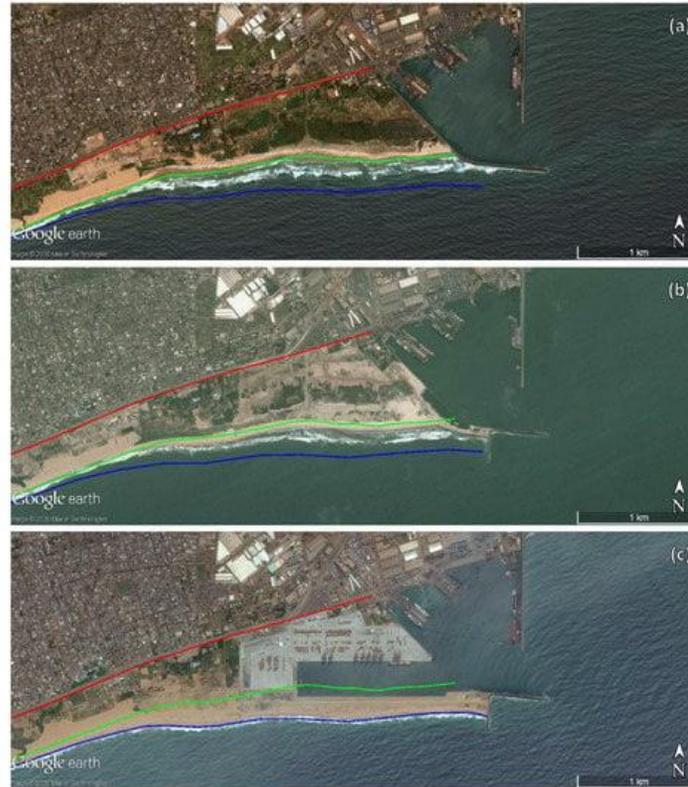


Figura 5.16: Secuencia de construcción del puerto de Lomé, Togo, a través de imágenes satelitales los años 2009 (a), 2012 (b) y 2016 (c). Fuente (Bart-Jan van der Spek, 2020).

Algunas soluciones temporales frente a las marejadas son el uso de boyas flotantes o amarras flexibles. Se descarta esta opción como estrategia de adaptación considerando un escenario de aumento de marejadas y la vulnerabilidad ambiental que representa la falla de estas estructuras.

Las estrategias anteriores permiten acciones complementarias tales como:

- Dragado del suelo marino contaminado: corresponde a una de las metas del PRAS, lo cual permite además de la recuperación de suelo marino, el aumento de profundidad para el transporte marino y el uso de los sedimentos dragados para la construcción de rompeolas, molos de abrigo u otras infraestructuras. En el puerto de San Antonio, se realizan estas técnicas para el desarrollo de nueva infraestructura y mantenimiento (SEIA, 2013).
- Formación de humedal: la disminución de la intensidad de las olas podría permitir la formación de humedales. Por ejemplo, extendiendo y propiciando el desarrollo del humedal Los Maitenes – Campiche ubicado en la zona sur de la Bahía hacia el interior.

- Designación de zonas inundables: la nueva infraestructura puede considerar zonas inundables como protección a la elevación del nivel del mar producto del cambio climático.

Luego, se analizan las estrategias según los siguientes criterios (Port of San Diego, 2019):

1. Exposición, sensibilidad, capacidad de adaptación, impacto financiero o impactos en cascada.
2. Límites y beneficios.
3. Factibilidad: ¿pueden las estrategias ser implementadas técnica, financiera y legalmente?
4. Idoneidad: ¿son las estrategias consistentes con las políticas y planes? ¿son proporcionales al impacto?

Finalmente, la estrategia contempla nuevas infraestructuras para los distintos puertos y para la zona costera, las cuales son:

- A. Rompeolas exento y de gravedad del tipo dique vertical: este tipo de infraestructura permite instalaciones a grandes profundidades y propiciaría la operación del puerto de GNL Quintero, tal como se presenta en la figura a continuación. Su ubicación también disminuiría las marejadas de los puertos ubicados en la zona centro de la bahía.
- B. Rompeolas flotante: esta infraestructura resguardaría los puertos de la zona centro de la bahía, y es adecuada para la menor profundidad sobre la que se encuentran los puertos. Tiene efecto complementario con estrategia (A), y ambos permiten las maniobras de barcos.
- C. Rompeolas de arena: contempla la extensión de la playa y favorece a los pescadores artesanales de la Caleta Ventanas.

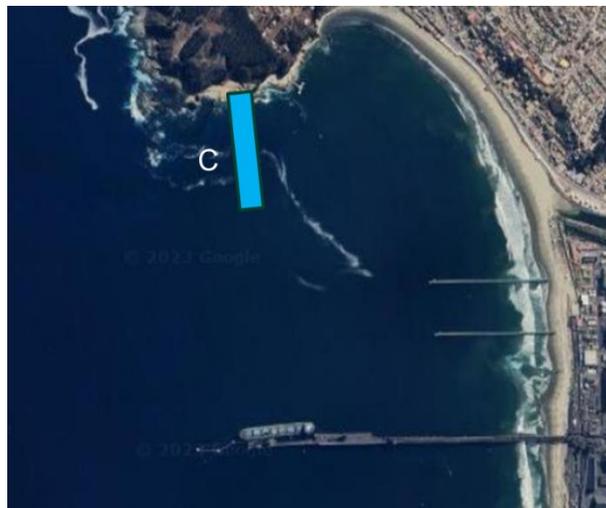


Figura 5.17: Estrategia C, extensión de playa para rompeolas de arena ubicado en Caleta Ventanas.

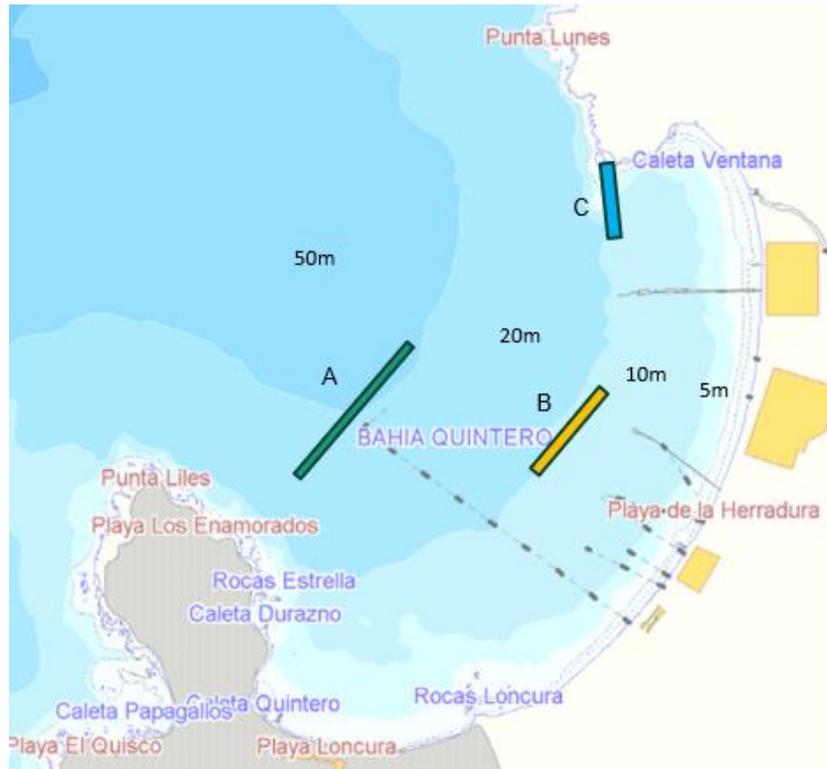


Figura 5.18: Estrategias de adaptación en Bahía de Quintero: (A) rompeolas con dique vertical, (B) rompeolas flotante y (C) rompeolas de arena.

3. Implementación y seguimiento

Para la gestión adaptativa de la estrategia, es necesario establecer indicadores que puedan señalar el correcto funcionamiento o la oportunidad de mejora. En Tabla 5.1 se presentan indicadores acordes a estrategia de abrigo de infraestructura portuaria.

Tabla 5.1: Indicadores de seguimiento y monitoreo, adaptado de Marco de Gestión Adaptativo (Port of San Diego, 2019).

Indicador	Descripción
Indicadores físicos	
Niveles del agua	Medición de elevaciones de agua tranquila en la Bahía Quintero
Actividad de las olas	Medición de las elevaciones máximas de agua asociadas con marejadas y actividad de olas

Niveles de marea	¿Las mareas superan un umbral definido?
Frecuencia de días de mal tiempo	Medición del número de eventos asociados a días de mal tiempo (reúnen los requisitos para el cierre de puerto).
Indicadores biológicos	
Extensión y migración del hábitat	Mapeo de las áreas y extensiones de hábitats en y alrededor de la Bahía de Quintero
Salud del hábitat	Evaluación de la diversidad de tipos de hábitats para respaldar ecosistemas saludables
Indicadores operativos	
Frecuencia de cierre de puerto	Conteo de eventos de cierre de puerto que ocurren en el puerto con obras de abrigo.
Desempeño de la infraestructura de abrigo	Medición de cómo responden los dispositivos existentes a las marejadas.
Costo de respuesta	Estimación del costo de responder y reemplazar activos dañados por eventos de marejadas.

La implementación de la estrategia seleccionada o de una nueva puede ser producto de la identificación de riesgos o cambios observados por el monitoreo de los indicadores anteriores, o también pueden surgir durante la restauración de hábitats, instalación de nueva infraestructura o el desarrollo de nuevos usos o negocios (Port of San Diego, 2019).

A partir de la idea anterior se justifica la realización del piloto en contexto de dragado o biorremediación de suelo marino, desarrollo de hidrógeno verde en la zona industrial, y la proyección de aumento de amenaza de las marejadas y frecuencia de cierre de puertos.

Fuentes de financiamiento

Las fuentes de financiamiento pueden ser conjuntos entre entidades públicas y privada. Por ejemplo:

- Estrategia A y B favorece principalmente la operación del puerto de GNL Quintero y en menor medida a los puertos de la zona centro de la bahía, entre ellos el puerto de importación para ENAP (empresa estatal), por lo que puede haber cofinanciamiento. Además, si la operación favorece la producción y exportación de hidrógeno verde de GNL Quintero, e incluso del almacenamiento de este por parte de ENAP, se puede optar a cofinanciamiento estatal, por ejemplo, a través de iniciativas de CORFO, organizaciones internacionales o similares.



- Estrategia C favorece principalmente la Caleta Ventana de pesca artesanal, y al turismo de la zona, por corresponder a un rompeolas de arena con gran componente de innovación. Luego, su financiamiento puede tener origen en la recuperación de Quintero-Puchuncaví, como fomento al turismo o protección de la fuente laboral de la pesca artesanal.

Beneficios del proyecto y aporte a la adaptación

Los beneficios del proyecto identificados son los siguientes:

- Disminuir las horas de cierre de puertos por mal tiempo, entregando beneficio económico, suministro de combustibles y exportación (ej: hidrógeno verde desde GNL Quintero).
- Disminución del movimiento durante la carga y descarga de los barcos, permitiendo seguridad ambiental al evitar derrames de productos.
- Rompeolas exento y rompeolas de arena favorecen la retención de sedimentos, propiciando la mantención de la zona costera como la playa.
- Eventual uso de los sedimentos dragados y tratados del suelo marino contaminado.

Si bien los beneficios son principalmente operativos o estructurales, pueden diseñarse a modo de favorecer la biodiversidad y turismo de la zona, producto de aguas tranquilas.

Enfoque de género, derechos humanos, territorial y de pueblos originarios.

El proyecto busca favorecer la recuperación de Quintero-Puchuncaví apostando por el desarrollo de la industria del hidrógeno, por el suministro de gas natural para la transición energética y por la protección de la pesca artesanal.

Luego, el desarrollo económico y portuario de la zona, considerando sus efectos ambientales desde el diseño, trae consigo el desarrollo de los territorios, oportunidades laborales y abastecimiento energético, condiciones habilitantes para la seguridad social.

Finalmente, si bien el nivel de detalle del proyecto no ha significado la evaluación de su impacto en derechos humanos, territorial, enfoque de género y de pueblos originarios, busca alinearse con la recuperación social y ambiental de las comunas de Quintero y Puchuncaví.

5.1.2.1 Ficha de proyecto piloto

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales antecedentes y beneficios esperados del proyecto.

Nombre	Obras de abrigo en bahía de Quintero
Objetivo	Identificar oportunidades de desarrollo portuario resiliente a los efectos del cambio climático, mediante la aplicación del Marco de Gestión Adaptativo en los puertos de Quintero y Puchuncaví.
Fuentes de financiamiento	La fuente de financiamiento y modelo de negocio fueron descritos anteriormente en la descripción del proyecto.
Stakeholders	Sector productivo, empresas de turismo, sindicatos de trabajadores y pesca artesanal. Ministerios, municipalidades de Quintero y Puchuncaví, SEIA. Sociedad civil y asentamientos urbanos.
Localización	Comunas de Quintero y Puchuncaví, región de Valparaíso.
Antecedentes	Detalle de los antecedentes fueron descritos con detalle en esta sección.
Componentes del proyecto	Evaluación de vulnerabilidad, plan de adaptación (rompeolas), implementación y seguimiento.
Beneficios del proyecto	El principal beneficio consiste en disminuir las horas de cierre de puerto por mal tiempo, disminución del movimiento durante la carga y descarga de los barcos, retención de sedimentos y mantención de borde costero, eventual uso de sedimentos dragados y tratados del suelo marino contaminado.
Aporte a la adaptación	Se espera que eventos climáticos extremos de marejada aumenten su frecuencia, limitando la operación de los puertos o exponiéndolos a daños ambientales por derrame de productos. El piloto propuesto permitirá la carga y descarga de barcos en días de mal clima, y contribuirá a la recuperación social y ambiental de Quintero y Puchuncaví.
Enfoque de género, derechos humanos, territorial y de pueblos originarios	El proyecto busca favorecer la recuperación de Quintero-Puchuncaví apostando por el desarrollo de la industria del hidrógeno, por el suministro de gas natural para la transición energética y por la protección de la pesca artesanal. Luego, el desarrollo económico y portuario de la zona, considerando sus efectos ambientales desde el diseño, trae consigo el desarrollo de los territorios, oportunidades laborales y abastecimiento energético, condiciones habilitantes para la seguridad social.

5.2 Meta sectorial a nivel de infraestructura resiliente y capacidad adaptativa al cambio climático para el sector energía

5.2.1 Revisión de metas existentes en el ámbito de la adaptación y resiliencia del sector energético

Para cumplir con el objetivo de proponer una meta sectorial en relación con infraestructura resiliente y capacidad adaptativa del sector energético, se revisaron tanto documentos internacionales como planes y estrategias nacionales, así como también los comentarios recibidos en las entrevistas realizadas en este estudio.

Entre los documentos revisados se encuentran la Estrategia Climática de Largo Plazo del (Gobierno de Chile, 2021), el Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Energía (Ministerio de Energía, 2018), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, 2020) y el borrador de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de California (California Natural Resources Agency, 2021).

A continuación, en esta sección, se enumeran las metas más relevantes asociadas con adaptación y resiliencia del sector energético, categorizadas por tópico, que fueron recopiladas en esta revisión. En la sección 7.2 se presenta la meta sectorial de infraestructura resiliente y capacidad adaptativa propuesta en esta actividad.

1. Infraestructura.

- a. La regulación, la planificación y la normativa energética, incluyendo los sectores de electricidad y combustibles, incorporan explícitamente la resiliencia y adaptación al cambio climático.
- b. El país cuenta con altos estándares a nivel mundial en confiabilidad y resiliencia del sistema energético (eléctrico y en sector combustibles), siendo un modelo de integración de energías renovables a seguir por otros países.
- c. Inclusión del análisis del impacto del cambio climático en la evaluación de proyectos energéticos en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA).
- d. Realizar diagnósticos que permitan identificar concentración de actividades, vocaciones territoriales y análisis de riesgo para infraestructura crítica y estratégica, como también, para otras instalaciones esenciales en el borde costero.

2. Operación.

- a. Identificar y evaluar eventuales cambios en el nivel del mar como consecuencia del cambio climático y su impacto en el sector energético.
- b. Incorporar escenarios climáticos comunes³⁹ en toda la investigación y planificación energética, y trabajar para ayudar a estandarizar los escenarios climáticos.
- c. Generación distribuida para mejorar la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos climáticos extremos.

³⁹ Siguiendo la experiencia de California y recomendación al PdL

3. Manejo de emergencia.

- a. El 100% de las comunas y regiones del país disponen de planes implementados de reducción de riesgos y emergencias del sector energético.
- b. Incluir en reglamentación que operadores de centrales de generación, líneas de transmisión, distribuidoras, etc. ejecuten planes de riesgo y adaptación.
- c. Fortalecer la planificación y gestión del riesgo en el sector energía ante eventos extremos.

4. Aprendizajes.

- a. Desarrollar estudios de proyecciones que permitan conocer impactos en la demanda, generación y transmisión de energía en condiciones de cambio climático.
- b. Desarrollar estudios de impactos en la producción de biomasa con fines energéticos del cambio climático.
- c. Sensibilizar a las personas y a las actividades productivas sobre los riesgos climáticos.
- d. Análisis del comportamiento de la demanda energética considerando los impactos del cambio climático.

5.2.2 Propuesta de meta sectorial

En la ficha que se presenta a continuación se describe la meta sectorial propuesta con sus respectivas actividades, plazo, instituciones responsables y presupuesto estimado.

Meta propuesta	Todos los propietarios de infraestructura energética implementan su plan de adaptación y resiliencia al cambio climático.
Plazo	2030
Actividades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo de estudios de proyección meteorológica con alta resolución geográfica que permita proyectar eventos climáticos extremos en función de escenarios IPCC. 2. Cruce de mapas desarrollados en actividad anterior y ubicación de infraestructura energética (oferta, transporte y demanda) para determinar exposición. 3. Introducir cambios en la ley eléctrica para que resiliencia y adaptación formen parte de las prioridades de coordinación. 4. Desarrollo de plataforma de información con resultados de mapas y metodología de análisis de vulnerabilidad y riesgo. 5. Instituciones de administración territorial y ambiental incorporan las zonas de alto riesgo de los mapas de exposición como zonas de exclusión para la construcción de infraestructura energética. 6. Convocar a los actores del sector para que elaboren sus planes de adaptación y resiliencia.
Indicadores	<p>Numero de propietarios en cumplimiento.</p> <p>Porcentaje de infraestructura preparada.</p>



Institución responsable	Ministerio de Medio Ambiente Ministerio de Energía Sector privado
Otras instituciones colaboradoras	CNE, SEC, SEA, Coordinador Eléctrico, MOP.
Presupuesto estimado.	1 - 5 MMUSD (realización de estudios, desarrollo de software, plataformas de información, capacitaciones, etc.). Fuente de financiamiento: público-privado

6 Propuesta de guía para adaptación

6.1 Introducción

En esta sección se propone una guía para analizar, considerar e implementar la adaptación al cambio climático en los proyectos de energía, considerando una perspectiva tanto del sector público como del privado.

El enfoque radica principalmente en evaluar la infraestructura existente o futura ante distintos escenarios, eventos e impactos asociados a variables del cambio climático. Una vez realizada la evaluación, se propone justificar la pertinencia del proyecto, definir e implementar estrategias de adaptación y resiliencia, finalizando con la elaboración de planes de emergencia y contingencia.

Según lo anterior, las variables económicas o de diseño de los proyectos quedan sujetos a las posibles estrategias de adaptación y resiliencia aplicables de cada proyecto. La propuesta considera algunos criterios mínimos tales como no tener un impacto negativo en su entorno, funcionalidad durante su vida útil, sin comprometer otros sistemas, áreas o la creación y mantenimiento de otras obras o proyectos a su alrededor.

Finalmente, cabe destacar que existe una gama de estrategias variables para el ajuste, protección y/o adaptación de una infraestructura, aplicables desde la operación y de uso de recursos humanos, hasta nueva infraestructura, entre ellas las soluciones basadas en la naturaleza.

6.2 Propuesta metodológica

En esta sección se presenta la propuesta de guía para la adaptación y se describe el paso a paso para la evaluación de proyectos en energía. Esta propuesta considera elementos de varios de los documentos revisados y analizados previamente.

Las principales referencias consultadas y utilizadas en la elaboración de la guía son:

- Directrices técnicas para el proceso del plan nacional de adaptación (UN). Obtenido de 21209_unfccc_nap_es_lr_v1.pdf
- 2021 Climate Adaptation and Resilience del U.S. Department of Energy Plan. Obtenido de DOEClimateAdaptationandResiliencePlan.pdf (energy.gov)
- Adapting the energy sector to climate change. Obtenido de ADAPTING THE ENERGY SECTOR TO CLIMATE CHANGE (iaea.org)
- Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA. MET-Guia-Cambio-Climatico_2023.pdf (sea.gob.cl)



- Vulnerability Assessment and Resilience Planning Guidance. Obtenido de <https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/DOE%20VARP%20Guidance%202021x.docx>
- Asimismo, se tiene en consideración la guía de gestión de activos de la SEC basada en normas ISO, cuyas actualizaciones en cursos buscan incorporar efectos del CC. Una síntesis de la guía se presenta en el Anexo G.

Si bien se considera como base las guías metodológicas del SEIA, la elaboración de esta guía tiene una lógica inversa respecto de su relación con el medio ambiente. Mientras que las guías del SEIA se enfocan en el impacto del proyecto sobre el ambiente, esta guía metodológica sobre adaptación y resiliencia se enfoca en el impacto del medio ambiente sobre el proyecto.

Se recomienda evaluar las bondades de separar por tecnologías o aplicaciones, pero siguiendo una estructura común.

Se debe considerar la complejidad de abordar resiliencia en proyectos energéticos debido a la variabilidad de impactos por ubicación y tipo de proyecto. También se identifica la escasez de información disponible en cuanto a implementación de resiliencia y proyecciones climáticas de alta resolución.

En la figura siguiente se presenta, de manera esquemática, la propuesta de 6 pasos metodológicos para la consideración de resiliencia y adaptación al cambio climático en los proyectos energéticos.

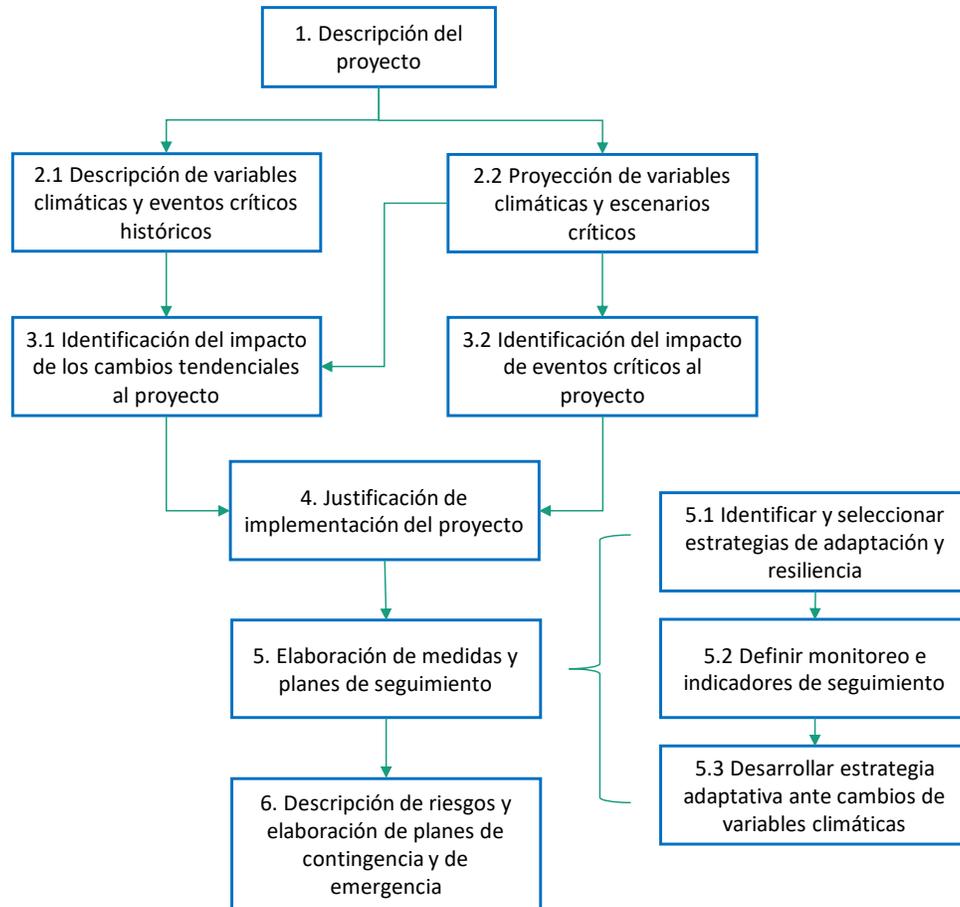


Figura 6.1: Pasos metodológicos para la consideración de resiliencia y adaptación al cambio climático en los proyectos energéticos.

A continuación, se describen los pasos de la guía, junto a elementos relevantes que se pueden considerar en su aplicación.

6.2.1 Paso 1: Descripción de del proyecto

Además de las características técnicas y operativas propias de los estudios de impacto ambiental, se debe caracterizar la ubicación de los equipos e infraestructura del proyecto de forma tal que sea posible identificar las variables climáticas a las que se enfrentan. La caracterización incluye el tipo de suelo, exposición al exterior, cercanía a zonas hídricas, urbanas o forestales, entre otros.

Este es un análisis similar al que se plantea en la guía metodológica del SEA.

6.2.2 Paso 2.1: Descripción variables climáticas y eventos críticos históricos en la zona del proyecto y área circundante

En esta sección se describen variables climáticas en el área del proyecto y al menos 20 km alrededor, tales como:

- Variables históricas recurrentes: radiación, viento, humedad relativa, nubosidad, precipitaciones, nivel del mar.
- Eventos críticos relacionados: inundaciones, incendios forestales, tormentas, marejadas, entre otros.

La descripción debe contener información espacial y temporal de alta resolución (por m2 y hora), o en caso contrario justificar su indisponibilidad. Para los eventos críticos, se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 6.1: Ejemplo de tabla para la identificación de impactos climáticos. Fuente: Adaptado de DOE (2021)

Eventos críticos históricos	Probabilidad	Frecuencia prevista	Impactos secundarios	Repercusiones en los recursos locales	Base para la determinación
Incendios forestales	Alta en verano	Las condiciones meteorológicas son propicias para la propagación de incendios, pero no en su ignición (causa humana). Fuente: CR2.	Cambios en la estructura de suelo puede propiciar inundaciones y sequía. También tiene impacto en el transporte y comunidades. Por último, aumentan las temperaturas de operación de los equipos, dispositivos y procesos, y disminuye la presencia de oxígeno en el ambiente.	Energía, agua, biota, trabajadores.	ARClím, CR2, eventos recientes, registro histórico.

6.2.3 Paso 2.2: Proyección de variables climáticas y escenarios críticos

En esta sección se describen las proyecciones climáticas en el área del proyecto y al menos 20 km alrededor, con enfoque en:

- Cambios tendenciales de las variables climáticas: aumento o disminución de temperatura, precipitaciones, vientos, elevación del agua de mar y sequía (nivel de agua continental).
- Eventos climáticos extremos, tales como olas de calor, inundaciones, grandes precipitaciones, incendio, nevazón y vientos extremos (huracanes).

La descripción debe contener información espacial y temporal de alta resolución (por m2 y hora), o en caso contrario justificar su indisponibilidad.

A partir de SEIA (2023) se recomienda:

- Priorizar análisis de obras y acciones de proyecto indicadas en el artículo 3° del Reglamento del SEIA (SEA, 2014).
- Para servicio de información la utilización de mapas de riesgos de ARClím (MMA, 2020) y planes asociados:
 - Explorador de Amenazas Climáticas
 - Explorador de Cambio Climático
 - Mapas Biodiversidad
 - Mapas Bosques Nativos
 - Mapas Recursos Hídricos
 - Mapas Energía
 - Plan de Adaptación Energía
 - Plan de Adaptación Biodiversidad
- Considerar para el análisis de riesgo climático en los componentes ambientales el escenario más desfavorable.
- Considerar los mapas de relevancia de ecosistemas terrestres y acuáticos continentales disponibles en el Geoportal de la plataforma Simbio.
- Resolución de 5x5 km2 de los mapas mencionados, por incertidumbre.

6.2.4 Paso 3.1: Identificación del nivel de impacto de las variables climáticas a los distintos equipos e infraestructura del proyecto

Se realiza el cruce de la ubicación de los equipos e infraestructura, con la información de variables climáticas. Se debe determinar el nivel de impacto en la operación y vida útil.

Este cruce tiene principal enfoque en la adaptación de los equipos a cambios tendenciales de las variables climáticas.

Example Risk Screening Matrix
Climate Hazards

		Higher Average Sea Level	Increased Coastal Flooding	Increased Frequency/ Intensity of Precipitation Events	Increase Ice Storms Frequency	Increased Annual Average Temperature
Critical Asset and Infrastructure Systems	IT and Telecommunication Systems	Medium	Medium	Low	Medium	Medium
	Site Workforce	Medium	Medium	Low	Medium	Medium
	Site Specific Asset: High Performance Computers	High	High	Medium	Medium	High
	Site Specific Asset: Laboratory Research Equipment	High	Medium	Medium	High	High
	Site Specific Asset: Nuclear Waste Handling Facility	High	High	Medium	High	Medium
	Off-Site Specific Asset: Power Plant	High	High	Medium	Low	Medium

Figura 6.2: Ejemplo matriz de riesgos. Fuente: VARP, DOE (2021b)

6.2.5 Paso 3.2: Identificación del nivel de impacto de los eventos críticos según proyecciones a los distintos equipos e infraestructura del proyecto

Al igual que en el concepto anterior, se incorpora análisis temporal y por escenarios de la intensidad de los eventos climáticos. Por ejemplo, comparando la misma matriz para el año 2030 y para el año 2040.

Se recomienda realizar la evaluación para los próximos 30 años, en pasos de 5 o 10 años para estructuras fijas (edificios, torres, murallas, entre otras) y 2 años para estructuras móviles o desmontables (equipos generadores, cableado, tanques de almacenamiento, entre otros).

Un impacto suficientemente justificado en cada equipo e infraestructura se obtiene a través del estudio de empresas o centros de investigación competentes, pudiéndose replicar a partir de estudios anteriores el análisis entre equipos de características y contexto similares. Las siguientes figuras, Figura 6.3 y Figura 6.4, ilustran ejemplos de matrices de impacto y evaluación tomados de referencias analizadas.

Sigue el enfoque de definición de infraestructura vulnerable futura (Adaptado de ONU, 2012; DOE, 2021; IAEA, 2019 y SEA, 2023).

6.2.6 Paso 4: Justificación de implementación del proyecto

Corresponde a la justificación de desarrollo e implementación del proyecto aún considerando los impactos climáticos identificados, la matriz de riesgos elaborada, y según criterios tales como costo-beneficio del proyecto (indicadores VAN, TIR, Recuperación del capital) y externalidades positivas (similar a SEIA).

La justificación adoptará un enfoque proactivo para mitigar y adaptarse al cambio climático (NPS Reino Unido), demostrando los beneficios sociales y medioambientales que traería consigo el proyecto, y el aporte a la resiliencia y adaptación del sistema al cual pertenece.

El proyecto solo es viable ante escenarios de riesgo cuando se demuestra que (NPPF, 2021):

- a) será seguro durante toda su vida útil y no tendrá un impacto negativo en su entorno,
- b) no se compromete a otros sistemas o áreas,
- c) el proyecto provee beneficios de sostenibilidad más amplios,
- d) el desarrollo no obstaculiza la creación y mantenimiento de otras obras o proyectos a su alrededor.

Finalmente, lo anterior permite dar cuenta de los riesgos que enfrenta el proyecto y su contribución o impacto al entorno. Si bien regulatoriamente puede no ser necesaria la justificación, es un indicador válido para el inversionista y propietario de la infraestructura, así como la información que se le pueda entregar a las comunidades respecto del riesgo y beneficio del proyecto.

6.2.7 Paso 5: Elaboración de medidas y planes de seguimiento

En cuanto a SEA (2023) se recomienda:

- Perspectiva de Adaptación como acción principal en la elaboración de medidas.
- Soluciones basadas en la naturaleza, implica diseñar y ejecutar acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados.
- Elaborar planes y gestionar riesgo de desastres e integrarlos con los planes de adaptación del cambio climático.

Luego, se presentan los siguientes pasos a seguir para la elaboración de medidas y planes de seguimiento.

6.2.8 Paso 5.1: Identificar y seleccionar estrategias de adaptación y resiliencia

La planificación para el cambio climático y los peligros meteorológicos extremos incluyen incertidumbre no sólo sobre cómo diferirá el clima en el futuro, sino también sobre cómo pueden cambiar paralelamente las tecnologías y las políticas climáticas. Un plan sólido debe ser



adaptable a las expectativas y pruebas cambiantes, así como facilitar el seguimiento de los avances y la evaluación de las soluciones aplicadas.

Según EBP (2018), la priorización de medidas y estrategias se realiza a partir de dos criterios clave:

1. Relevancia para el suministro: aquel impacto que es crítico para el suministro energético, en términos que el impacto pone en riesgo la continuidad del servicio a nivel nacional (ej. existe poca capacidad adaptativa) y por lo tanto es urgente adaptarse.
2. Temporalidad: es un impacto que se está ya evidenciando o se espera en horizonte de corto plazo (al año 2030).

En el cuadro siguiente se presenta un ejemplo de la descripción de estrategia de adaptación y resiliencia seleccionada, considerando un proyecto de energía renovable distribuido, que podría dar mayor seguridad de suministros a un consumidor o zona específica. En el contexto nacional, el proyecto distribuido deberá ser menor o igual a 9 MW, a diferencia del que se presenta aquí en la referencia de la DOE.

Tabla 6.2: Ejemplo de selección de estrategias de adaptación y resiliencia. Fuente: VARP, DOE (2021b)

Peligro(s) potencial (es)	Calor, sequía e incendios forestales provocan peaks de demanda excesivos y caídas de tensión
Solución	Producción de energía renovable en proyecto distribuido
Breve descripción de la solución	Desarrollar proyecto fotovoltaico de 20 MW in situ para garantizar la disponibilidad de electricidad
Activo(s) crítico(s)	Electricidad
Eficacia prevista	70%, relación entre consumos y generación.
Viabilidad (fácil, moderada, difícil)	Moderado
Costo y tipo de financiamiento	\$500k, Contrato de rendimiento de ahorro energético (ESPC)
Impacto en la comunidad	Reducir carga de la empresa de servicios públicos, permitiendo una mayor disponibilidad de electricidad para la comunidad
Impacto medioambiental	Impacto en la ecología in situ
Enfoque recomendado	Avanzar al paso siguiente

Las medidas y estrategias seleccionadas deben indicar plazos de implementación y asignación de responsabilidades. También es recomendable la evaluación de complementariedad entre estrategias, y su contribución a la reducción y gestión del riesgo de desastres.

6.2.9 Paso 5.2 Definir monitoreo e indicadores de seguimiento

En este paso se considera el monitoreo de los hitos de la implementación con respecto al plan de resiliencia, y la definición de indicadores para evaluar el rendimiento de las estrategias implementadas.

Se debe considerar la recopilación de comentarios de las diversas organizaciones en el territorio que implementan el plan y también la evaluación de la eficacia de las soluciones de adaptación/resiliencia completadas. También incorporar y comparar los comentarios con la nueva información sobre el cambio climático, las políticas energéticas, los costos de instalación, las tecnologías de resiliencia y la experiencia de implementación.

Los indicadores de seguimiento deben permitir los siguientes análisis:

- Validar la información de los pasos 2 y 3 respecto de las variables climáticas y su impacto a la infraestructura del proyecto.
- Presentar señales de alarma o emergencia ante eventos críticos.
- Evaluar la magnitud del impacto de cambio climático y la pertinencia de las estrategias de adaptación seleccionadas.

6.2.10 Paso 5.3 Desarrollar estrategia adaptativa ante cambios de variables climáticas

En este paso se considera reevaluar el plan completando una revisión periódica o repitiendo los pasos al menos cada cuatro años para incorporar nueva información como, por ejemplo, información actualizada de la ciencia climática procedente del último plan nacional de CC.

En línea con el paso de justificación del proyecto, dado que el proyecto no debe obstaculizar la realización de nuevos proyectos, tampoco deberá restringir su propia adaptación.

Por otra parte, un proyecto o estrategia de adaptación puede considerar los efectos climáticos de corto plazo, pero permitiendo su adaptación a los efectos de mediano y largo plazo.

Finalmente, se sugiere la siguiente descripción en la estrategia adaptativa:

- Definición de variables críticas y umbrales de actuación: permite el inicio de procedimientos una vez que una o más variables sobrepasan los umbrales definidos. Por ejemplo: variable marejada, con umbral correspondiente a cierta cantidad de días de cierre de puertos.
- Estrategias de adaptación: definir un conjunto de estrategias complementarias o correctivas a las estrategias seleccionadas, de modo que se tenga información concreta de posibles opciones en un corto plazo.
- Incluir la adaptación dentro de los procesos de operación y mantenimiento. Por ejemplo, para infraestructura verde frente a islas de calor, plantar árboles de distinto crecimiento considerando las proyecciones de temperatura.



6.2.11 Paso 6. Descripción de riesgos y elaboración de planes de contingencia y de emergencia

Según EBP (2018), se deben implementar planes de emergencia, contingencia y desastres para eventos climáticos extremos que afectan al sector energía, incluyendo mecanismos para dar coberturas/normalizar a cortes de suministro en tiempos adecuados (opciones de almacenamiento de energía).

Las medidas deben basar su diseño y ejecución en acciones que protejan, gestionen de manera sostenible y restauren ecosistemas naturales o modificados, lo cual se torna especialmente relevante en ecosistemas claves para la adaptación del cambio climático vinculados a la seguridad alimentaria e hídrica, así como también al riesgo de desastres.

También se deben elaborar planes y gestionar riesgo de desastres e integrarlos con los planes de adaptación del cambio climático, identificar las situaciones de riesgo o contingencia y emergencia, sean estas provocadas por eventos de operación o funcionamiento anómalo del proyecto, o bien por amenazas naturales que ocurren por las características del lugar de emplazamiento.

Ejemplos que pueden guiar este paso:

- Plan de contingencia de CONAF para las regiones con altas temperaturas.
- Plan para la reducción del riesgo de desastre en centros de trabajo de micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) 2023⁴⁰.
- Plan de contingencia de ENAP en terminales marítimos⁴¹.

⁴⁰ https://www.previsionsocial.gob.cl/sps/download/pnsst_2023/normativa_sst/Guia-Reduccion-Riesgos-de-Desastres-Mipyme-13.02.2023.pdf

⁴¹ <https://www.enap.cl/descarga/forzada/4055>

7 Discusión final y conclusiones

Los efectos de la crisis climática (CC) en Chile ya se han hecho sentir de diversas formas en el sector energético como por ejemplo el incremento progresivo de los tiempos fuera de servicio de puertos experimentado en la última década y su impacto en la logística de combustibles, inundaciones y aluviones que destruyen infraestructura eléctrica y fenómenos de tormentas de arena en el norte que no se conocían, afectando infraestructura y producción de parques fotovoltaicos. Todos ellos mencionados por actores del sector en el contexto de las entrevistas desarrolladas en el estudio.

El concepto de resiliencia climática se establece en la Ley N° 21.455 o Ley Marco de Cambio Climático (LMCC), promulgada en junio de 2022, con una definición que es similar en su esencia al que establecen organismos internacionales. En particular el IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineers*), en su grupo de trabajo sobre resiliencia de sistemas eléctricos de potencia (SEP), enfatiza la naturaleza dinámica de la resiliencia abarcando la prevención antes del evento, las medidas correctivas y coordinación de emergencia durante el evento, la restauración hacia el final del evento y la adaptación posterior éste. Análogamente, en la resiliencia son aplicables todos los conceptos de análisis de riesgo, que abarca la intersección entre vulnerabilidad, exposición y peligros. La analogía entre los conceptos de resiliencia y confiabilidad de SEP permiten aprovechar las décadas de conocimientos y metodologías desarrolladas para el sector eléctrico. Es más, la misma idea de adaptación al CC, en el contexto de suministro energético, se asemeja al problema de suficiencia de SEP y, la de resiliencia, al de seguridad.

Los sistemas energéticos son sistemas dinámicos, complejos e interrelacionados, que integran múltiples componentes individuales para proveer un servicio esencial. De esta manera, los conceptos de riesgo y resiliencia pueden ser aplicados tanto a los componentes individuales como al sistema o a subconjuntos de éste. Así, los esfuerzos de análisis y mejoramiento deben enfocarse en todos.

En la revisión nacional se analizaron y sintetizaron todos los documentos de agendas, planes y políticas comprometidas, con síntesis enfocadas en objetivos y metas relacionados directa o indirectamente con resiliencia del sector energético. Al respecto, queda como interrogante general el seguimiento de la implementación y evaluación de las respectivas acciones y medidas propuestas en cada uno de ellos. Algunos temas destacados no cubiertos identificados en la revisión son: los conflictos entre objetivos de eficiencia económica y resiliencia, la eventual pérdida de diversidad de suministro energético que induce la electrificación; la interrelación y coordinación público-privado entre sectores como la infraestructura civil y obras públicas, el financiero y de seguros; la respuesta de emergencias y mejoramiento de los tiempos de recuperación; y las necesidades de información y herramientas para análisis de riesgo a nivel local. Asimismo, actores de la industria destacan la menor atención que ha tenido la adaptación al CC respecto de otros temas como la misma mitigación.

En julio de 2023 ingresa al congreso el proyecto de Ley de Transición Energética, cuyo objetivo central planteado es que el segmento de transmisión sea habilitante de la transición, buscando actualizar el marco del sector eléctrico a las disposiciones de la LMCC. Este proyecto, si bien promueve la resiliencia climática en la planificación energética en algunas formas, no la tiene por objetivo central, por ejemplo, cautelando la coherencia del sector con otros sectores de la



economía en relación con adaptación y escenarios de CC, o incluso dentro del mismo sector eléctrico como, por ejemplo, las obligaciones de los coordinados respecto de adaptación y resiliencia.

Un tema relevante del CC es que el futuro climático ya no se parecerá al pasado registrado en las estadísticas históricas que, entre otros, se usan para tarifación eléctrica, por ejemplo, de la suficiencia y sus pagos, o en la planificación del sistema en todas sus formas. Por otro lado, las proyecciones y escenarios de CC permiten anticipar y prepararse para el futuro, luego es preciso analizar en profundidad y determinar cómo se aplicaría el concepto de fuerza mayor (o caso fortuito) en situaciones de desastres previsible. Ejemplo de ello es la disposición de la ley eléctrica que, en su Artículo 164°, establece que una sequía no constituye fuerza mayor en situaciones de racionamiento. También la aplicación de este concepto por parte del fiscalizador en transmisión y distribución no ha estado exenta de polémicas y casos en tribunales.

Tanto estudios como opiniones de actores coinciden en que el suministro y logística de combustibles es frágil actualmente y con tendencia a empeorar por efecto del CC. Son conocidos los incrementos de los tiempos fuera de servicio para carga/descarga de combustibles de los puertos nacionales como consecuencia de marejadas y vientos. Por su parte, proyectos de ampliaciones o nuevas infraestructuras de almacenamiento de combustibles fósiles, al igual que ductos de transporte que servirían como medidas para aumentar la resiliencia en la distribución, enfrentan una fuerte oposición ciudadana que impide su desarrollo. Aunado a eso, se tiene una industria que mira su futuro como tendiente a la desaparición, inhibiendo esfuerzos de inversión.

Por el lado de la revisión internacional, se ha elaborado un catastro de países, basado en información de la Agencia Internacional de Energía, que incluye el grado de avance respectivo en adaptación y resiliencia. Entre lo descubierto destaca que, en general, los países más avanzados en implementación de medidas son aquellos que están expuestos a un impacto negativo menor por el CC. En específico se determinó ahondar en las reglamentaciones de Japón, Reino Unido, Estados Unidos (California) y Alemania. La revisión se resume en un listado de implementaciones destacables que podrían enriquecer la discusión nacional. Entre ellas:

- Exigencias a las empresas eléctricas y de gas de desarrollar planes de adaptación y resiliencia.
- Condicionamiento del desarrollo y diseño de nueva infraestructura, justificando su pertinencia en zonas de mayor vulnerabilidad a impactos del cambio climático.
- Desarrollo de procesos participativos con las comunidades más vulnerables.
- Existencia de fondos de financiamiento para mejorar la resiliencia de la infraestructura energética.
- Definición de los escenarios climáticos a considerar en los análisis de vulnerabilidad de manera estandarizada.
- Altos estándares de protección de infraestructura energética frente a eventos adversos de la naturaleza en emplazamientos costeros y marítimos.
- Robustecimiento de las reservas estratégicas de combustibles.
- Desarrollo de recursos distribuidos y microrredes.



En lo reglamentario, se han sistematizado y revisado los cuerpos legales que deberían ser ajustados, en mayor o menor grado, para adecuarse a los objetivos de adaptación y resiliencia de la política energética. Aprovechando la similitud con la confiabilidad, se identifican 21 artículos en la ley eléctrica en los que podrían incluirse los conceptos de adaptación y resiliencia al CC, ya sea explícita o indirectamente asimilándolo al de confiabilidad. En el mismo tenor deberían adecuarse 26 reglamentos, entre los que destacan los de potencia de suficiencia y coordinación, y 12 normas técnicas. Aquellos que sí integran actualmente el concepto de resiliencia son los reglamentos de la planificación energética de largo plazo y el de planificación de la transmisión. No obstante, resalta la carencia de detalle y precisión metodológica existente para efectos de su aplicación concreta, encontrándose interpretaciones distintas entre entidades que deben aplicarla y confusión en el resto de la industria. A este respecto, se recomienda explotar la aplicabilidad de los marcos metodológicos de los análisis de confiabilidad de sistemas eléctricos, como los análisis de contingencias y criterios probabilísticos/determinísticos. Asimismo, reforzar a nivel legal la necesidad de incorporar la adaptación y resiliencia al CC como parte de las obligaciones de los coordinados.

En lo relativo al sector combustibles, con excepción de las obligaciones de almacenamiento, el marco legal se centra en seguridad de las personas y las cosas. Por ello, sin pasar por una reformulación de la industria, la recomendación es incrementar los niveles de almacenamiento y cautelar su implementación tanto a nivel zonal como local. Adicionalmente, las acciones del estado pueden implementarse a través de las políticas de ENAP (Empresa Nacional del Petróleo) y de las concesiones portuarias para fomentar obras de abrigo que reduzcan la vulnerabilidad a marejadas.

También se presenta la revisión de seis experiencias internacionales de infraestructura resiliente. En este caso, no ha sido sencilla la identificación de experiencias reales, en particular de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) aplicada al sector energético. Entre estas se pueden mencionar obras de protección a inundaciones en subestaciones eléctricas, estándares de diseño y en general gestión de activos considerando el CC (actualización de normas ISO), diversos tipos de obras de abrigo en puertos, sistemas de alerta temprana y, respecto de SBN, uso de forestación para proteger la rivera de embalses e infraestructura verde para enfrentar islas de calor urbanas.

Considerando lo revisado y analizado, en un contraste entre necesidades y costos, se plantean dos pilotos demostrativos para mejorar la resiliencia. Estos son: formación de islas de suministro eléctrico con pequeños medios de generación en distribución (PMGD), o islas con PMGD, y una obra de abrigo en puerto asociado a combustibles. Mientras la primera se considera un buen potencial de resiliencia de bajo costo, el segundo se considera como necesario si no se incrementa significativamente la capacidad de almacenamiento de combustibles. A partir de la revisión del catastro nacional de PMGD, se selecciona la localidad de Chonchi (subestación de igual nombre) como un alimentador con las relaciones de demanda y capacidad conectada de PMGD (centrales hidroeléctricas Dongo y Collil) que permitirían mínimos costos de implementación, permitiendo que el alimentador pueda ser suministrada por los PMGD cuando hay problemas de suministro desde el sistema interconectado. En el segundo caso, por su relevancia en la importación de combustibles al país, se analizan distintas formas de obras de abrigo en la bahía de Quinteros.



En el ámbito de una meta sectorial nacional enfocada en infraestructura resiliente y adaptación del sector energía, siguiendo la experiencia de California en USA, se propone: “todos los propietarios de infraestructura energética implementan su plan de adaptación y resiliencia al cambio climático antes del 2030”. La iniciativa consta seis actividades por etapas, incluyendo estudios de proyección de impactos climáticos con alta resolución espacial, plataformas de información y herramientas de apoyo al análisis de riesgo de una obra o infraestructura.

Finalmente se presenta una propuesta de guía de adaptación, inspirada en la experiencia de Reino Unido, para la evaluación de proyectos energéticos. La guía se plantea en lógica inversa al impacto ambiental, i.e., el impacto del ambiente, y en particular del clima, sobre el proyecto. La guía consta de seis pasos fundamentales como un proceso concurrente a la descripción de riesgos y elaboración de planes de contingencia y emergencia, basados en información de ubicación, función del proyecto, y de variables climáticas tanto históricas como proyectadas.

Anexo A Referencias

Adapt Chile. (2020). Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático: 2020-2030.

Adaptation options for hydropower plants — English. (n.d.). Retrieved from <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/adaptation-options-for-hydropower-plants>

Agenzia Nova. (2023). "Webluid: las obras del Nuevo Dique de Génova avanzan a toda máquina". Obtenido de <https://www.agenzianova.com/es/news/webluid-i-lavori-della-nuova-diga-foranea-di-genova-procedono-a-pieno-ritmo/>

Aram, F., Higuera García, E., Solgi, E., Mansournia, S. (2019) Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon* 5

Besir, A. and Cuce, E. (2018) Green roofs and facades: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 915–939

BMUV (2022), Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz, <https://www.bmuv.de/download/aktionsprogramm-natuerlicher-klimaschutz>.

Bhusal N., M. Abdelmalak, M. Kamruzzaman and M. Benidris, (2020) "Power System Resilience: Current Practices, Challenges, and Future Directions," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 18064-18086, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968586.

Calfapietra, C. (2020) Nature-based Solutions for microclimate regulation and air quality – Analysis of EU-funded projects. Brussels: European Commission

Centro de Energía (2023), Torres, R., Palma, R., Mendoza, P., Jiménez, G., Benavides, C., & Fuentes, F. Requerimientos Técnicos para la Conformación de Microrredes en Sistemas de Distribución y el Diseño de las Propuestas Metodológicas que se Indican.

Chattopadhyay Deb, Mathaios Panteli, (2022) "Integrating resilience in power system planning: A note for practitioners", *The Electricity Journal*, Volume 35, Issue 9, 2022, 107201, ISSN 1040-6190, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2022.107201>.

Climate Change Committee. (2023). Progress in adapting to climate change. Retrieved from <https://www.theccc.org.uk/publication/progress-in-adapting-to-climate-change-2023-report-to-parliament/>

Climate resilience case study: piano key weirs. (n.d.). Retrieved from <https://www.hydropower.org/blog/climate-resilience-case-study-piano-key-weirs>

DAS (2020), Segundo informe de situación sobre la Estrategia alemana de adaptación al cambio Climático, Gobierno Federal Alemania, 2020.

Department of Energy & Climate Change. (2011). National Policy Statements for energy infrastructure. Obtenido de GOV.UK: <https://www.gov.uk/government/publications/national-policy-statements-for-energy-infrastructure>

Dictuc. (2019). Análisis de Inventarios de Infraestructura de Combustibles.



- Diputación de Barcelona (2019). Renaturalización de la ciudad. Serie Urbanismo y Vivienda.
- Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante. (2004). "Mapas de Sensibilidad Ambiental Bahías de Quintero, Concón y Valparaíso". Obtenido de <http://hdl.handle.net/1834/7022>
- DOE, 2021. Climate Adaptation and Resilience del U.S. Department of Energy Plan. [DOEClimateAdaptationandResiliencePlan.pdf \(energy.gov\)](https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/DOE%20VARP%20Guidance%202021x.docx)
- DOE, 2021b. Vulnerability Assessment and Resilience Planning Guidance <https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/DOE%20VARP%20Guidance%202021x.docx>
- EBP Chile, et al (2017). Estrategia Energética Local de la comuna de Renca.
- European Environment Agency. (2019). Adaptation challenges and opportunities for the European energy system. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-energy-system>
- FAU (2022). Modelo de simulación del clima urbano para apoyar la toma de decisiones de planificación sensible al clima en Chile. FONDEF IDeA I+D ID20I10378.
- Fernández, G. (2007). "Bahía de Quintero: puerto industrial y energético de origen granelero". Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111636>
- Flood defence framework for National Grid substations in United Kingdom — English. (n.d.). Retrieved from <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/flood-defence-framework-for-national-grid-substations-in-united-kingdom>
- GIZ. (2021). Mapa normativo del sector energético chileno.
- GIZ (2023). Evaluación de los efectos del cambio climático en la proyección de demanda energética a nivel nacional. Energy Partnership Chile - Alemania, GIZ Chile
- GNL Quintero, "Muelle". Obtenido de: <https://www.gnlquintero.com/terminal/muelle/>
- GNL Quintero. "GNL Quintero, Acciona Energía y Enagás se unen para desarrollar un proyecto de hidrógeno verde en la Bahía de Quintero". Obtenido de <https://www.gnlquintero.com/2021/08/19/gnl-quintero-accion-energia-y-enagas-se-unen-para-desarrollar-un-proyecto-de-hidrogeno-verde-en-la-bahia-de-quintero/>
- Gobierno de Chile (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. Camino a la Carbono Neutralidad y Resiliencia a más tardar al 2050.
- Hernández, Andrea (2022), "Confiabilidad y resiliencia aplicada en la planificación de los sistemas de transmisión", memoria para optar al título de Ingeniera Civil en Electricidad, USACH.
- HM Government (2023). Powering up Britain, Policy paper. En <https://www.gov.uk/government/publications/powering-up-britain>
- Horizon (2023). Demonstrating Nature-based Solutions for the sustainable management of water resources in a changing climate, with special attention to reducing the impacts of extreme



droughts. HORIZON-CL6-2024-BIODIV-02-1-two-stage. En <https://www.horizon-europe.gouv.fr/demonstrating-nature-based-solutions-sustainable-management-water-resources-changing-climate>

IAEA, 2019. Adapting the energy sector to climate change. ADAPTING THE ENERGY SECTOR TO CLIMATE CHANGE (iaea.org)

IEA. (Agosto de 2021). Japan Climate Resilience Policy Indicator. Obtenido de <https://www.iea.org/articles/japan-climate-resilience-policy-indicator>

IEA. (Octubre de 2022). Sixth Strategic Energy Plan - 2050 Carbon neutral. Obtenido de <https://www.iea.org/policies/14391-sixth-strategic-energy-plan-2050-carbon-neutral>.

IMA (2017). Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments Recommendations of the Interministerial Working Group on Adaptation to Climate Change of the German Federal Government, 2017

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

MEN, 2020. Evaluador de Cambio Climático. <https://cambioclimatico.minenergia.cl/>

Ministerio de Energía (2018). PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR ENERGÍA 2018-2023.

Ministerio de Energía. (2022). Decreto 29. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1174092&idVersion=2022-05-12&idParte=10320389>

Ministerio de Obras Públicas. (2013). "Guía de Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras". Obtenido de <https://dop.mop.gob.cl/seminarios/Paginas/Inicio2.aspx>

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Quintero - Puchuncaví: Programa para la recuperación ambiental y social. Obtenido de <https://pras.mma.gob.cl/quintero-puchuncavi/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). "Programa para la Recuperación Ambiental y Social Quintero - Puchuncaví". Obtenido de: <https://pras.mma.gob.cl/quintero-puchuncavi/>

Ministry of Housing, Communities & Local Government. (2021). National Planning Policy Framework. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/publications/national-planning-policy-framework--2>

Ministry of the Environment, Japan. (Diciembre de 2020). Assessment Report on Climate Change Impacts in Japan. Obtenido de <https://www.env.go.jp/content/000047546.pdf>

Ministry of the Environment, Japan. (Noviembre de 2018). National Adaptation Plan. Obtenido de <https://www.env.go.jp/en/earth/cc/adaptation/mat02.pdf>

MMA, 2022. Atlas de Riesgos Climáticos. <arclim.mma.gob.cl>



NPPF, 2021. National Planning Policy Framework, Inglaterra. <https://www.gov.uk/government/publications/national-planning-policy-framework--2>

OECD (2018). Climate-resilient Infrastructure, Gender and climate-resilient infrastructure. En <https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>

OECD (2023), OECD Environmental Performance Reviews: Germany 2023, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/f26da7da-en>.

ONU, 2012. Directrices técnicas para el proceso del plan nacional de adaptación 21209_unfccc_nap_es_lr_v1.pdf

Port of San Diego. (2019). Climate Action Plan: Port of San Diego Sea Level Rise Vulnerability Assessment and Coastal Resiliency Report. Obtenido de <https://www.portofsandiego.org/environment/energy-sustainability/climate-action-plan>

Port of San Diego. (2021). Projects: Wetland Mitigation Bank at Pond 20. Obtenido de <https://www.portofsandiego.org/projects/wetland-mitigation-bank-pond-20>

Puerto Ventanas S.A. "Memorias Puerto Ventanas S.A.". Obtenido de: <https://puertoventanas.cl/inversionistas/memorias-puerto-ventana-s/memorias-puerto-ventana-s/>

Rycerz, R., Bugler W., Messling, L., and Wade, G. (2020) Itaipú Dam: How natural ecosystems support one of the world's largest hydroelectric dams. Resilience Shift Case Study. En <https://www.resilienceshift.org/wp-content/uploads/2020/08/Itaipu-Dam-case-study-Resilience-Shift.pdf>

SEA, 2014. Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental. (<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563&idParte=9369919>)

SEA, 2023. Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA. MET-Guia-Cambio-Climatico_2023.pdf (sea.gob.cl)

SEIA. (2013). "Dragado en zona marítima común del puerto de San Antonio". Obtenido de https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=8354678#-1

SONACOL. (2018). "Presentación 2ª línea oleoducto M-AAMB". Obtenido de: <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=142118&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

Sweeney, Benjamin (2019). Designing port infrastructure for sea level change: a survey of U.S. engineers, Thesis Master of Arts in Marine Affairs, University of Rhode Island, 2019. En <https://digitalcommons.uri.edu/theses/1464/>

van der Spek, B.-J., Bijl, E., van de Sande, B., Poortman, S., Heijboer, D., & Blik, B. (2020). Sandbar Breakwater: An Innovative Nature-Based Port Solution. *Water*, 12(5), 1446. <https://doi.org/10.3390/w12051446>



Wetlands International (2021). Breaking down the barriers for accelerating action across sectors on Nature-based solutions. October 2021. <https://www.wetlands.org/blog/breaking-down-the-barriers-for-accelerating-action-across-sectors-on-nature-based-solutions/>

Anexo B Acrónimos

CEN	: Coordinador Eléctrico Nacional
CENS	: Costo de la Energía No Suministrada
CMg	: Costo marginal
CNE	: Comisión Nacional de Energía
DS	: Decreto Supremo (Chile)
ERV	: Energías Renovables Variables
ENS	: Energía No Suministrada
ERNC	: Energías Renovables No Convencionales
FV	: Solar fotovoltaico
IEA	: <i>International Energy Agency</i>
ISO	: <i>Independent System Operator</i>
LGSE	: Ley General de Servicios Eléctricos
LOLE	: <i>Loss of Load Expectation</i> (expectativa de pérdida de carga)
LOLP	: <i>Loss of Load Probability</i> (probabilidad de pérdida de carga)
LOLP dm	: LOLP en demanda máxima (Chile)
MRT	: Margen de Reserva Teórico
OTC	: <i>Over the Counter</i>
PdL	: Proyecto de Ley
RM	: Resolución Ministerial (Chile)
SEC	: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (Chile)
SEN	: Sistema Eléctrico Nacional (Chile)
SIC	: Sistema Interconectado Central (Chile)
SIE	: Superintendencia de Electricidad
SING	: Sistema Interconectado del Norte Grande (Chile)
SSCC	: Servicios Complementarios
VOLL	: <i>Value of Loss of Load</i> (Valor de la pérdida de carga o costo de falla)

Anexo C Síntesis de documentos de política pública

C.1 Política Energética Nacional 2050 (PEN)

El planteamiento de una política energética nacional estructurada tiene su origen el año 2015. Esta primera versión fue actualizada el año 2022. En orden cronológico, las siguientes secciones sintetizan los principales componentes de cada una para efectos comparativos.

C.1.1 Primera versión PEN 2015

Presentado por el Ministerio de Energía (MEN) en contexto de la “Agenda de Energía” del año 2014, la Política Energética propone una visión del sector energético para orientar el desarrollo de la política pública en la materia para los próximos años. Esta política busca alcanzar al año 2050 un sector energético confiable, sostenible, inclusivo y competitivo. La Política Energética planteada se sustenta en los siguientes 4 pilares:

1. Seguridad y Calidad de Suministro.
2. Energía como Motor de Desarrollo.
3. Compatibilidad con el Medio Ambiente.
4. Eficiencia y Educación Energética.

Para cada pilar se vislumbran atributos deseables del sector energético y a partir de ellos se definen metas al año 2035 y 2050. Para alcanzar cada meta, se proponen conjuntos de acciones. El primer pilar “Seguridad y Calidad de Suministro” es el que tiene relación o vínculos con la resiliencia del sector. En los siguientes párrafos se describen las metas y acciones planteadas en el documento en donde aquellas más atingentes son descritas con mayor grado de detalle.

C.1.1.1 L1. Planes de gestión de riesgos

- Lineamiento 1: Disponer de planes nacionales, regionales y comunales de gestión de riesgos y emergencias para el sector energético que estén en línea con otros planes sectoriales y los planes nacionales.
- Acciones:
 - 2016-2025: Elaborar Planes Nacionales, Regionales y Comunales de Gestión de Riesgos y Emergencias Energéticas y su proceso de actualización periódica.
 - 2018-2020: Desarrollar la institucionalidad para Gestión de Riesgos y Emergencias Energéticas.
- Metas al 2035:
 - El país tiene una institucionalidad para gestionar los riesgos y emergencias del sector energía.
 - El país dispone de planes nacionales, regionales y comunales de gestión de riesgos y emergencias energéticas, actualizados periódicamente.
- Metas al 2055:
 - El sistema energético es robusto y altamente resiliente a shocks exógenos.
- Actores: Ministerio de Energía, SEC, ONEMI, Agentes del mercado, Operador del Sistema Eléctrico, Ministerio del Interior.

C.1.1.2 L2. Infraestructura para situaciones críticas

- Lineamiento 2: Promover infraestructura costo-efectiva para enfrentar situaciones críticas derivadas de fuerza mayor.
- Acciones:
 - 2016-2030: Elaboración de catastro de infraestructura energética, no energética y edificaciones públicas críticas y zonas de catástrofes naturales.
 - 2016-2018: Definir infraestructura crítica.
 - 2016-2020: Identificar eventos y contingencias a considerar dentro de necesidades de infraestructura crítica.
 - 2020-2030: Implementar de manera sistemática infraestructura crítica y modelos de gestión requeridos.
 - 2020-2025: Desarrollar mecanismos de financiamiento e incentivos para el desarrollo e implementación de infraestructura crítica.
- Metas al 2035:
 - Se desarrolla la infraestructura para enfrentar situaciones críticas y los modelos de gestión asociados.
- Metas al 2050:
 - El sistema energético es robusto y altamente resiliente a shocks exógenos.
- Actores: Ministerio de Energía, Ministerio del Interior, ONEMI, Operador de Sistema Eléctrico, CNE, Universidades, Agentes del mercado.

C.1.1.3 L3. Seguridad de combustibles

- Lineamiento 3: Aumentar la seguridad de aprovisionamiento, almacenamiento, transporte y distribución de combustibles.
- Acciones:
 - 2016-2030: Aumentar las inversiones en infraestructura de la cadena de combustibles.
 - 2016-2030: Reducir la vulnerabilidad en el suministro mediante acciones bilaterales en los mercados de especial interés.
- Metas al 2035:
 - El país cuenta con un sistema de abastecimiento y stocks suficientes para garantizar la disponibilidad de suministro en todo el territorio.
- Metas al 2050:
 - Nuevas vías de acceso por zona para garantizar la seguridad de abastecimiento son una realidad.
- Actores: Ministerio de Energía, Ministerio de Relaciones Exteriores, ENAP, Empresas distribuidoras, Empresas transportistas, Nuevos actores privados.



C.1.1.4 Restantes lineamientos

Los restantes lineamientos de la política energética son los siguientes:

- Lineamiento 4: Promover la investigación, exploración y explotación de los recursos de hidrocarburos del país.
- Lineamiento 5: Promover un sistema inteligente de producción y gestión descentralizada de la energía para los sectores residencial, público y comercial, no sólo para usuarios particulares, sino también para cooperativas, municipalidades y organizaciones interesadas.
- Lineamiento 6: Promover un intercambio regional eficiente que aumente la flexibilidad del sistema eléctrico.
- Lineamiento 7: Asegurar el acceso continuo al suministro energético a las familias vulnerables, considerando estándares y criterios de seguridad y eficiencia comunes a toda la población.

C.1.1.5 Informes de Seguimiento

Cada año desde la aprobación de la Política Energética 2050 de Chile, el Ministerio de Energía, elabora un informe de seguimiento que da cuenta de los avances en la implementación de la política. Durante los años 2016 y 2017, este informe correspondió a un análisis cualitativo de acciones asociadas a cada lineamiento estratégico de la Política, cuya ejecución había sido comprometida a iniciarse durante los años correspondientes. Tras la publicación de la Resolución Exenta N° 113 del Ministerio de Energía de 2018, se estableció un procedimiento de monitoreo y seguimiento de la implementación de la política, definiendo un set de 28 indicadores de seguimiento de la implementación de sus metas. El 2020 se presentó el tercer informe reportando el avance de los indicadores. En la Tabla 7.1 se listan los indicadores de seguimiento de la PEN, destacándose en amarillo aquellos que están más o menos relacionados con seguridad de suministro, considerando que la PEN 2050 no incluía el concepto de resiliencia. Cabe destacar que no todas las 99 metas tienen un indicador explícito asociado, pero cubren en mayor o menor grado todos los lineamientos.

El citado reporte no incluye un diagnóstico general ni específico del cumplimiento de las metas trazadas en la Política Energética Nacional 2050. Asimismo, en la mayoría de los casos, no se identificó un pronunciamiento explícito sobre el nivel general de retraso o adelanto en la implementación de los lineamientos de la política, ni el grado de avance respecto de las metas, ya sea en forma cualitativa o en base a los indicadores formulados.

Tabla 7.1: Indicadores de seguimiento de la PEN 2019.

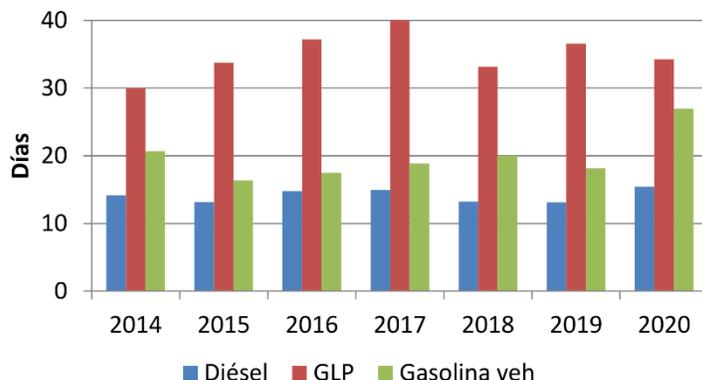
N°	Nombre
1	Porcentaje de avance de planes regionales y plan nacional de emergencias energéticas
2	Tiempo promedio de indisponibilidad anual del servicio eléctrico a nivel país, debido a fuerza mayor.
3	Días de stock de combustibles
4	Porcentaje de clientes con medidores inteligentes
5	Capacidad instalada de generación distribuida anual y acumulada
6	Volumen de intercambio internacional de electricidad y gas natural
7	Tiempo promedio de indisponibilidad anual del servicio eléctrico (Índice SAIDI sin fuerza mayor)
8	Número de actores relacionados con proyectos, que han tenido actividades de formación, información y fortalecimiento en relación a proyectos con gestión del Ministerio de Energía
9	Número de proyectos energéticos, gestionados por el Ministerio de Energía, que han alcanzado mecanismos de valor compartido comunidad/empresa
10	Porcentaje de la población con acceso a la energía: (1) Acceso a energía eléctrica (2) Acceso a agua caliente sanitaria (3) Acceso a calefacción
11	Número de regiones con planes energéticos regionales (PER)
12	Lugar de Chile en ranking OECD de precios de suministro eléctrico
13	Porcentaje de generación eléctrica en base a energías renovables
14	Porcentaje de generación eléctrica en base a tecnologías de bajas emisiones
15	Porcentaje de consumo de combustibles bajos en emisiones en la matriz de combustibles
16	Porcentaje de avance en la regulación de la biomasa y su implementación
17	Porcentaje calefactores recambiados
18	Intensidad de emisiones del sector Energía (GEI/PIB)
19	Número de empresas y consultores que prestan servicios energéticos inscritos en el Registro de la Agencia de Sostenibilidad Energética
20	Porcentaje de grandes consumidores de energía con sistemas de gestión de la energía validados
21	Intensidad energética (consumo de energía versus PIB)
22	Porcentaje de artefactos y equipos vendidos que corresponden a clases energéticamente eficientes
23	Porcentaje de edificios públicos que informan su consumo energético, del total de edificios registrados en la plataforma Gestiona Energía
24	Número de buses eléctricos en circulación en el país
25	Promedio de eficiencia de vehículos livianos nuevos
26	Porcentaje de población informada en energía
27	Porcentaje de niveles de la educación formal parvularia, básica y media en donde se ha incorporado contenidos referidos a energía en sus instrumentos curriculares
28	Número de personas capacitadas en energía y certificadas

Fuente: Informe de Seguimiento PEN, Min Energía, 2020

A modo de ejemplo y, para efectos comparativos posteriores, en la siguiente figura se muestra lo reportado para el stock de combustibles. Esto, sólo a nivel agregado nacional, ya que se indica que no se determinaron para unidades territoriales menores.

Figura 7.1: Días de stock de combustibles, seguimiento de la PEN 2020.

Fuente: Informe de Seguimiento PEN, Min Energía, 2020.



C.1.2 Actualización PEN 2022

El Ministerio de Energía actualiza la Política Energética Nacional cada 5 años. La última actualización, de 2022, recoge los lineamientos de la primera versión de 2015, ampliándolos, redefiniéndolos o agrupándolos para incorporar los diversos cambios que experimenta el sector y su contexto, alineándolos ya sea con objetivos existentes o nuevos objetivos planteados en el largo plazo.

C.1.2.1 Focos principales

La actualización de la PEN se plantea en los siguientes tres grandes propósitos:

1. Protagonistas de la ambición climática.
2. Energía para una mejor calidad de vida.
3. Nueva identidad productiva para Chile.

Y dos pilares esenciales:

1. Sistema energético resiliente y eficiente.
2. Cambiando la forma de hacer políticas públicas.

C.1.2.2 Objetivos generales

La PEN 2021/22 plantea 18 objetivos generales. De ellos, los que mejor podrían relacionarse con resiliencia climática de la infraestructura serían los siguientes:

- Objetivo 3: Ciudades energéticamente sustentables.
- Objetivo 4: Transporte sustentable.
- Objetivo 11: Suministro de energía confiable y de calidad.
- Objetivo 15: Información para la transición energética.
- Objetivo 16: Coordinación entre instituciones.
- Objetivo 17: Institucionalidad y gobernanza en energía.

La visión que se entrega para el sector energético del futuro pone énfasis en: sustentabilidad, eficiencia, inclusividad, resiliencia, accesibilidad y respeto a los derechos humanos y a la diversidad de culturas del territorio. En particular, en resiliencia busca “incorporar en todo



ámbito el valor de la resiliencia. Esto es, el sector se prepara, responde y se adapta para enfrentar cambios por efectos del cambio climático y desastres naturales, garantizando la confiabilidad del suministro energético”.

C.1.2.3 Metas planteadas

En relación con metas específicas asociadas a los objetivos generales destacados, se encuentran las siguientes:

- a. Al 2050, el desempeño energético de las ciudades chilenas es igual o mejor que el medido para 2030.
- b. Al 2030, 100% de edificaciones públicas nuevas son "consumo energía neta cero" ⁴².
- c. 2050: Se ha alcanzado una cantidad de 500.000 usuarios conectados a redes de energía distrital, con énfasis en la zona centro sur del país.
- d. 100% de las edificaciones nuevas, residenciales y no residenciales, son “consumo energía neta cero” al 2050.
- e. Metas de vehículos cero emisiones al 2035 (100% vehículos livianos y transporte público nuevos), al 2040 todo el transporte público y 60% del parque vehicular completo al 2050.
- f. La regulación, planificación y normativa energética, incluyendo los sectores de electricidad y combustibles, incorporan explícitamente la resiliencia y adaptación al cambio climático al 2030.
- g. Consejo público-privado permanente para la seguridad y resiliencia del sistema eléctrico, creado en 2022, que contribuya con evidencia técnica y colabore en orientar las políticas públicas en materia de confiabilidad del sistema eléctrico.
- h. Al 2040, Chile cuenta con los más altos estándares del mundo en confiabilidad y resiliencia del sistema energético.
- i. 1 hora máximo de indisponibilidad de suministro eléctrico promedio en el país al 2050, con frecuencia de eventos de indisponibilidad promedio nacional de máximo 2 veces al año, y con menor nivel de dispersión a nivel comunal en relación con el 2021. Al 2035 indisponibilidad de suministro máximo de 4 horas y frecuencia de los eventos máximo de 5 veces al año.

Las metas a. a la e. tienen una relación más bien indirecta con la resiliencia por su impacto en oferta y demanda de energía. Esto, ya sea mediante el cambio en la fuente de suministro de la energía que demanda la solicitud o servicio en cada caso, como por medio del impacto que dicho cambio pueda tener en la existencia de una o más opciones de suministro viables en el futuro.

Por su parte, las metas f. a la i. se relacionan directamente con la resiliencia y buscan el cubrimiento de los siguientes objetivos específicos:

⁴² Edificaciones de consumo de energía neta cero: Edificio que gracias a su diseño pasivo logra un alto rendimiento energético, y su energía anual neta consumida es cubierta por fuentes de energía renovable generadas en el sitio o cercano a este.

- OE11.1: Propender al desarrollo de sistemas energéticos robustos, considerando los atributos de confiabilidad (seguridad y suficiencia) y resiliencia, tal que se satisfaga la demanda actual y futura, asegurando además que el país cuente con los niveles de infraestructura de transmisión, flexibilidad y seguridad requeridos para integrar las energías renovables necesarias para la transición.
- OE11.3. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector energía al cambio climático y facilitar la integración de la adaptación al cambio climático en el desarrollo y gestión del sector energía, tomando en cuenta las realidades locales.

En todos los casos se estipulan los indicadores para medir las metas planteadas. Por otro lado, no se señala el organismo encargado de la implementación de acciones para alcanzar cada objetivo o meta, ni su seguimiento y evaluación específica en el tiempo. No obstante, se entiende que sería el Ministerio de Energía.

Si bien se presentan acciones “habilitadoras” de corto plazo, a diferencia de la PEN anterior no siempre se delinear acciones de mediano plazo.

C.1.3 Comentarios

La PEN de 2015 deja fuera de las metas algunas relativa a indisponibilidad de suministro por fuerza mayor, como podrían ser los eventos climáticos extremos. No obstante, el lineamiento 2 busca abordar la resiliencia del sector energético. Por su parte, la de 2022 es más explícita en metas al respecto, aunque sin ser del todo específica respecto de qué eventos se incluyen o no en la contabilización de los indicadores de indisponibilidad.

La Política Energética Nacional de 2022 integra el concepto de resiliencia al más alto nivel, similar al de confiabilidad y calidad de suministro, separándolo de ambos. Se identifican diversas metas al respecto, pero sin resolver cuestiones como el conflicto de objetivos entre la eficiencia económica y la resiliencia. Asimismo, plantea para una fase posterior la definición de métricas de resiliencia, umbrales de aceptación y el condicionamiento que dichas métricas imponen sobre el desarrollo del sector energético nacional, sus respectivos rubros y segmentos en la cadena de suministro. Por otro lado, se pone énfasis en la descarbonización de la matriz con electrificación de sectores o generación eléctrica distribuida sin cautelar la pérdida de diversidad de las fuentes de energía o de cadenas de suministro.

Por otro lado, no se indican relaciones con otras carteras que tienen impacto o interrelación. Esto constituye un elemento mejorable en futuras versiones

Si bien se identifica la elaboración de reportes de seguimiento de la PEN, hasta el 2020 estos se enfocan principalmente a la presentación del cálculo de indicadores y no incluyen una evaluación de las medidas o acciones implementadas, el grado de avance/cumplimiento de metas, dificultades actuales o previstas, diagnósticos ni proyecciones. Es recomendable que lo planteado sea cubierto en los nuevos reportes.



C.2 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

Para el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), se revisaron 2 versiones: la última versión oficial del año 2015, y los informes confidenciales asociados al proceso de actualización del PNACC en curso, en cuanto a soluciones basadas en la naturaleza y el enfoque de riesgo de desastres.

C.2.1 PNACC 2015

El PNACC tiene como misión "Fortalecer la capacidad de Chile para adaptarse al cambio climático profundizando los conocimientos de sus impactos y de la vulnerabilidad del país y generando acciones planificadas que permitan minimizar los efectos negativos y aprovechar los efectos positivos, para su desarrollo económico y social y asegurando su sustentabilidad." A su vez, tiene como objetivos:

- a. Establecer el marco conceptual para la adaptación en Chile.
- b. Establecer el marco institucional bajo el cual operará el Plan Nacional de adaptación y los planes sectoriales.
- c. Establecer y actualizar los sectores que requieren planes de adaptación y establecer los criterios y lineamientos para su elaboración e implementación.
- d. Definir las acciones transversales a los sectores, necesarias para la adaptación al cambio climático.

Como antecedentes, informa los impactos sectoriales en los sectores silvoagropecuario, biodiversidad, pesca y acuicultura, salud, infraestructura, recurso hídrico, ciudades, energía y turismo. De estos se destaca lo siguiente:

Sector	Impactos sectoriales
Recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Sus impactos repercuten en otros sectores. • Reducción de los caudales producto del aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones. • Elevación de isoterma 0°C, reduciendo la capacidad de almacenar nieve a lo largo del año, alterando la influencia de los caudales en las cuencas de influencia nival. • Retroceso de los glaciares, afectando especialmente a las cuencas con alto porcentaje de cobertura de glaciares y altas demanda de recursos hídricos. • En el extremo sur, se espera un leve aumento de los caudales disponibles, mientras que, en el extremo norte, disminuirían en la primera mitad del siglo XXI.
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos, como inundaciones por precipitación, aludes y desborde de ríos producto de lluvia intensa y tormentas cálidas.



- La operación de los puertos y caletas pesqueras junto a su infraestructura se vería afectada por los incrementos en la altura de las olas, la intensidad de los oleajes y, en la intensidad y dirección de los vientos.
- Las obras de embalses y pozos se verían afectados por la disminución de recarga de los acuíferos y de los caudales.

Energía

- Disminución del recurso hídrico para generación hidroeléctrica.
- El aumento de las temperaturas aumentaría el consumo energético a nivel industrial y residencial, producto de los sistemas de aire acondicionado.

Los impactos presentados en los sectores recursos hídricos, infraestructura y energía, se resumen al efecto de los cambios en precipitaciones, marejadas y olas de calor. La actualización del PNACC es necesaria, pero en su momento dio cuenta de un problema que actualmente es una realidad: la emergencia hídrica producto de la disminución de precipitaciones y retroceso de glaciares, provocando la disminución de caudales sobre todo en épocas de mayor temperatura, donde antes el derretimiento de la nieve almacenada permitía mantener un caudal adecuado y el relleno de acuíferos.

Luego, el PNACC da cuenta del estado de avance de los planes sectoriales, de los cuales se destaca lo siguiente en contexto de resiliencia en infraestructura energética:

Sector	Ejes prioritarios seleccionados
Recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir y enfrentar la escasez: superar la escasez a corto plazo y abordarla de forma permanente. Comprensión del ciclo hidrológico en el manejo de los recursos, recarga artificial de acuíferos, obtención de recursos desde nuevas fuentes, como plantas desalinizadoras, construcción de infraestructura hídrica y otros. • Potenciar el desarrollo de una Ley de Glaciares, que permita la conservación de estos cuerpos, considerando los efectos del cambio climático.
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de análisis de impactos de cambio climático en la evaluación de obras de infraestructura y metodología para infraestructura específica. • Planes regionales de contingencia frente a la destrucción de infraestructura mayor. Mapas de vulnerabilidad y zonas de riesgo. • Identificación de nuevos requerimientos de Infraestructura producto de la nueva climatología dada por el cambio climático.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar cuáles serán las implicancias para el sector eléctrico, desde el punto de vista de la generación hidroeléctrica, el efecto de la



disminución de los recursos hídricos y poder determinar las medidas específicas para adaptarse a esta situación.

Se tiene que los ejes prioritarios en sectores relacionados a la infraestructura energética se pueden resumir en estudios de los impactos de cambio climático, planes regionales de contingencia y estrategia para el uso sostenible del recurso hídrico.

C.2.2 Actualización PNACC: enfoque de riesgo de desastres

Esta sección refiere al capítulo 2 del Informe de Avance N°2 del estudio para “Generar información específica sobre vulnerabilidad y riesgos, adaptación y lineamientos para la actualización del plan nacional de Adaptación al Cambio Climático de Chile”, ejecutado por el Ministerio del Medio Ambiente.

El objetivo es la “elaboración de una guía que contenga los lineamientos para la incorporación del enfoque de riesgo de desastres en planes de adaptación al cambio climático en Chile”.

Este capítulo se divide en dos grandes secciones: en la primera, se presenta “una síntesis de los lineamientos, aproximaciones y buenas prácticas metodológicas (...), identificando elementos clave que se sugiere incorporar en la práctica de la planificación y gestión de riesgos climáticos en nuestro país”. En la segunda sección, “se aborda un análisis normativo que ayude a esclarecer las instituciones relevantes y de gobernanza actual, en múltiples escalas territoriales y administrativas, asociadas con la gestión del cambio climático y de la gestión de riesgo de desastre, así como los posibles desafíos y oportunidades de coordinación que pueden existir entre ellas.”

El enfoque principal del material revisado en la primera sección radica en la gestión del riesgo, por lo que la resiliencia solo se observa en términos de medidas propuestas, y se identifica como materia recientemente abordada. Algunas conclusiones clave relacionadas a resiliencia en la revisión literaria son:

- La urgencia de incorporar más profundamente la gestión del riesgo y la resiliencia en la planificación urbana y territorial, con atención particular a los desafíos emergentes en el contexto del cambio climático.
- La necesidad de contar con marcos de análisis para identificar y gestionar riesgos, incluyendo la evaluación de la vulnerabilidad y la identificación de medidas para aumentar la resiliencia, así como la importancia de recopilar, sistematizar y analizar datos relevantes y actuales, involucrar a la comunidad en el proceso y utilizar esta información para planificar y gestionar los riesgos de manera efectiva.
- La necesidad de una aproximación integral coordinada para abordar la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático, siendo esta, una que involucre a todos los sectores y actores.

Respecto a la segunda sección de marcos de gobernanza, se identifica como relevante en contexto del presente estudio lo siguiente:

- La capacidad de implementación puede verse limitada si no se instala transversalmente un mecanismo de control, mediante un sistema de monitoreo, evaluación y eventual sanción, para dar cumplimiento de los objetivos de los planes y estrategias.
- Existe una fuerte delegación de responsabilidades a los gobiernos regionales y municipios del país, encargados de diseñar e implementar los instrumentos de cada uno de los planes regionales, sin existir hasta el momento lineamientos claros que permitan definir la coordinación entre los mismos en términos conceptuales, metodológicos y de gobernanza. Sin embargo, resulta importante destacar que el marco de cambio climático hace referencia a la necesidad de articularse, entre otros ordenamientos, con el de gestión del riesgo de desastres, donde se le otorga a SENAPRED un rol crucial para validar los planes climáticos en lo que respecta a la definición de medidas asociadas a la gestión del riesgo de desastres.

C.2.3 Actualización PNACC: soluciones basadas en la naturaleza

Esta sección refiere al capítulo 3 del informe en revisión, cuyo objetivo es “elaborar lineamientos para la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y seguridad hídrica (SH) en planes de adaptación y otros instrumentos en Chile.”.

Los principales productos de este capítulo se refieren al planteamiento de los principales enfoques, conceptos y criterios propuestos en las principales guías mundiales que establecen lineamientos para aplicación de SbN. También se realiza una revisión de los marcos regulatorios de Chile vinculados a SbN, y cuáles son los actores involucrados a SbN en el país.

Se tiene que la mayoría de las medidas de SbN apuntan a incrementar la biodiversidad o utilizar elementos de la naturaleza para promover el bienestar de los ecosistemas, mientras que las medidas de SbN que buscan garantizar SH van directamente relacionadas con las metas de recursos hídricos. La relación entre medidas de SbN con sectores se presenta a continuación.

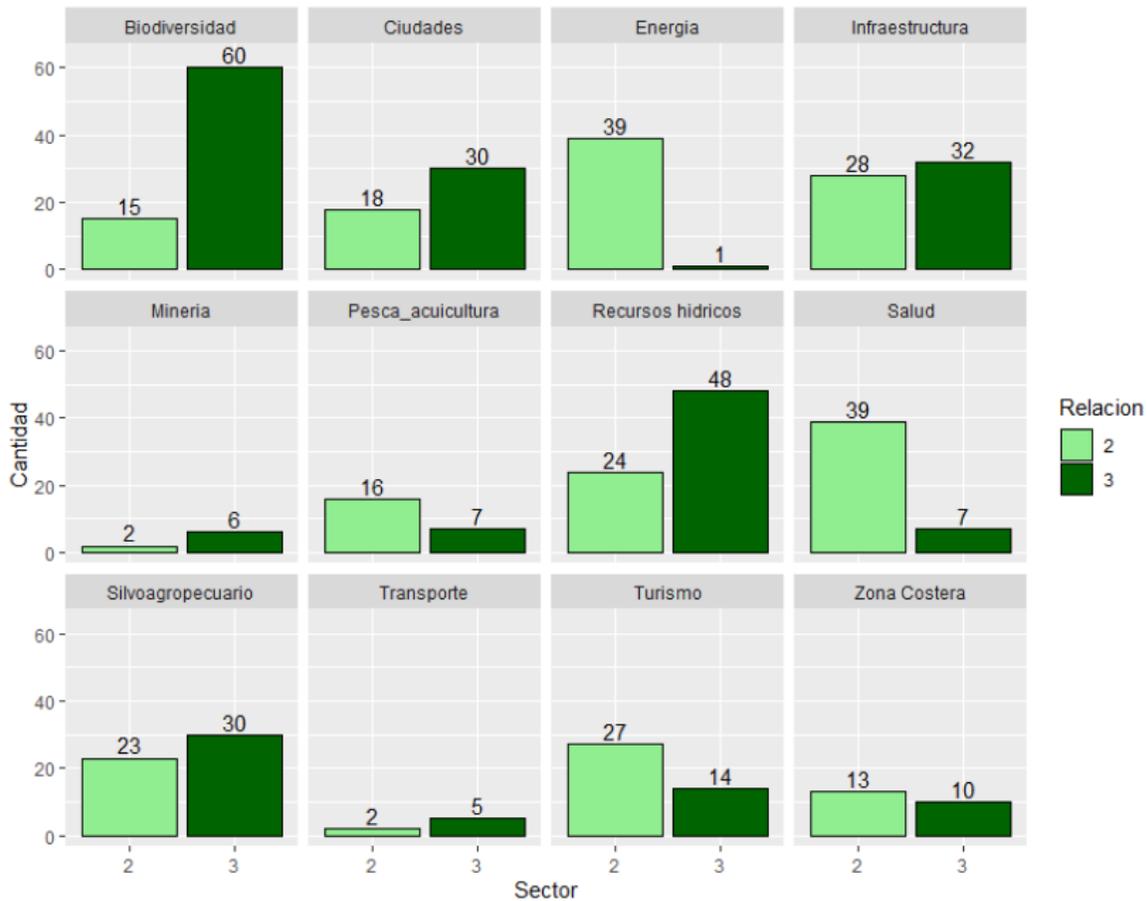


Figura 7.2: Cantidad de medidas de SbN aplicables para cada sector, siendo "2" las medidas con una relación indirecta con el sector, y "3" con una relación directa con el sector.

Luego, los sectores con menos medidas identificadas fueron zonas costeras, pesca y acuicultura, salud, energía, minería y transporte, aunque se destaca una cantidad relevante de medidas con relación indirecta en el sector energía. Algunas de las medidas asociadas a estos sectores y en relación con infraestructura energética son:

- Combinación del uso de vegetación natural costera con infraestructura para la reducción del riesgo de inundaciones y marejadas (zonas costeras - puertos).
- Corredores verdes de transmisión energética (sector energía).
- Humedales, biorremediación y fitorremediación para el tratamiento de relaves mineros (sector minería). Los aluviones pueden afectar y desbordar la disposición de relaves, intensificando la magnitud de los cortes de suministro energéticos y de transporte asociados a estos eventos
- Plan de corredores y calles verdes para incrementar la viabilidad de la vida local silvestre, mejorar la funcionalidad de las calles en ayudar a gestionar las aguas lluvia, entre otros (sector transporte), los cuales permitiría el acceso a patrullas ante eventos extremos



(como inundaciones, incendios forestales, marejadas, entre otros), si el diseño de la solución así lo contempla.

C.2.4 Resumen PNACC

Los documentos anteriores: PNACC del 2015, y la actualización del PNACC según capítulos de gestión del riesgo de desastres y soluciones basadas en la naturaleza, no hacen referencia explícita a la resiliencia en infraestructura crítica. No obstante, se presentan algunos conceptos relacionados:

- La necesidad de estudiar los efectos del cambio climático en el recurso hídrico (ej: generación hidráulica), desarrollar mapas de vulnerabilidad y análisis de impacto de cambio climático en obras de infraestructura o necesidad de nuevos requerimientos.
- Necesidad de incorporar la gestión del riesgo y resiliencia en planificación urbana y territorial.
- Escasa cantidad de soluciones basadas en la naturaleza aplicables de forma directa en sector energía, zonas costeras y transporte, comparado con turismo, recurso hídrico y biodiversidad. No obstante, sector energía presenta gran cantidad de SbN aplicables de forma indirecta.

Dado que es una actualización en proceso, y no se ha publicado información referida a la entrevista al Ministerio de Energía, entre otros ministerios, es posible que haya información más precisa por identificar en cuanto a resiliencia en infraestructura energética.

C.3 Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía 2018–2023

C.3.1 Descripción general

El Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía desarrollado por el Ministerio de Energía en 2018 (Ministerio de Energía, 2018) se elaboró en respuesta a los objetivos y metas establecidas en la Política Energética Nacional en materia de cambio climático y adaptación, y a su vez está en línea con el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017- 2022 (PANCC II) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del 2014. Tiene como objetivo identificar impactos del cambio climático en el sector de energía y la revisión de medidas de adaptación que se están implementando en el sector para la fecha.

En el estudio se menciona que la adaptación está cobrando cada vez mayor relevancia y se avanza desde una etapa de sensibilización a una orientada a la acción, mediante el desarrollo de estrategias nacionales y locales. En el 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

C.3.2 Impactos del cambio climático en variables relevantes para el sector de energía.

A continuación, se describen los cambios en las variables relevantes para el sector de energía como consecuencia del cambio climático.

Temperatura: Se proyecta un aumento de la temperatura en todo el territorio nacional, con un gradiente de mayor a menor de norte a sur, y de cordillera a océano, siendo la zona con mayor aumento de temperatura la cordillera (altiplano) del norte grande.

Precipitaciones: Se proyecta una disminución entre 5-15% de las precipitaciones entre el río Copiapó y Aysén.

Eventos Extremos: Se proyecta que, para la segunda mitad del siglo XXI, los eventos extremos de precipitación ocurran más de 10 veces en 30 años. El número de eventos extremos de precipitación tiende a decrecer, pero aumenta la ocurrencia en presencia de periodos de aumento de temperatura y con ellos el riesgo de precipitación isoterma elevada.

Aumento de nivel del mar: En el estudio se menciona que con datos de mareógrafos del SHOA se tiene que en la zona norte el nivel del mar está disminuyendo a tasas de -1,4 mm/año y en el sur aumenta a tasas de 2,2 mm/año, asociado a actividad sísmica de cada zona.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los cambios climáticos esperados para 2050 con respecto a la temperatura y precipitación informado en este documento.

Tabla 7.2: Resumen de cambios en temperatura y precipitación a 2050 de acuerdo con PACC del sector energía.

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

C.3.3 Resumen de impactos esperados en el sector energético nacional

En el estudio se resumen los impactos esperados del cambio climático con respecto a las variables relevantes para el sector energía, estas variables son en el recurso hídrico, en el recurso solar, en el recurso eólico y la biomasa.

C.3.3.1 Impactos en variables climáticas

Agua

Los impactos esperados en el recurso hídrico consideran un eventual aumento de la temperatura en gran parte del territorio nacional que tiene un impacto directo en la disminución del almacenamiento en glaciares cordilleranos y por lo tanto la disminución de caudales en épocas de deshielo. También se espera una disminución de las precipitaciones, que en conjunto con lo mencionado de las temperaturas afectaría negativamente la disponibilidad del recurso hídrico y cambios en la estacionalidad de los caudales. Hay que destacar también que se diagnostica que el aumento de eventos extremos podría ocasionar conflictos por el uso del agua.

Tabla 7.3: Resumen de impactos en el recurso hídrico de acuerdo con PACC del sector energía.

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

Recurso Solar

Con respecto al recurso solar, los cambios en patrones de humedad, radiación y nubosidad ocasionarían un aumento de la radiación solar en zonas centro y centro sur, aumentando el potencial energético solar en el país.

Tabla 7.4: Resumen de impactos en el recurso solar de acuerdo con PACC del sector energía.

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

Viento

El viento en tanto no tendría un cambio tendencial evidente, se menciona que existirían cambios en la disponibilidad del recurso, pudiendo estos ser negativos o positivos dependiendo de la zona.

Tabla 7.5: Resumen de impactos en el recurso eólico de acuerdo con PACC del sector energía.

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

Biomasa

El recurso de biomasa en el país se espera que disminuya debido a menores rendimientos y se produzcan cambios tanto en la distribución geográfica de cultivos, especies nativas y de plagas por el aumento de temperatura. La disminución de las precipitaciones y caudales tendrían impacto en la capacidad de producción de biomasa para energía y el aumento de eventos extremos podría disminuir la eficiencia en la producción y aumentar el costo asociado a los seguros.

Tabla 7.6: Resumen de impactos en el recurso biomasa de acuerdo con PACC del sector energía.

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 plagas.
PP	Disminución	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la demanda evapotranspirativa.
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.

C.3.3.2 Impactos en tecnologías de generación

En el estudio también se mencionan los impactos específicos a las tecnologías de generación más relevantes del país, las cuales se describen a continuación.

Hidroelectricidad

Con respecto a las centrales hidroeléctricas del país se esperan impactos relacionados con el sobredimensionamiento de las plantas, disminución del almacenamiento del recurso, disminución de la generación en épocas de deshielo, como se comentaba anteriormente con el efecto de la disminución de los caudales, y un aumento en conflictos por el uso del agua. En el caso de eventos extremos se espera un aumento de los costos de OyM, eventual daño a la infraestructura, episodios de sequía y con ello posibles interrupciones en la generación de energía.

Tabla 7.7: Resumen de impactos en generación hidroeléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.

Variable	Tendencia	Impacto en generación hidroeléctrica
Q (T°yPP)	Disminución	<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 a su disminución.

Generación Solar

Para la generación solar se esperan efectos mixtos, por ejemplo, el aumento de temperatura ocasionaría una pérdida de eficiencia de paneles no significativa y aumento del potencial de generación por el aumento de la radiación solar esperada. En tanto, los eventos extremos ocasionarían daño en la infraestructura y pérdidas de eficiencia durante olas de calor.

Tabla 7.8: Resumen de impactos en generación solar de acuerdo con PACC del sector energía.

Variable	Tendencia	Impacto en generación solar
T°	Aumento	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución del rendimiento de paneles solares, pero de poca relevancia.
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 el 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.

Generación Eólica

Los cambios en los patrones de viento originarían cambios en la producción de energía con tendencia desconocida y los eventos extremos causarían daños en la infraestructura, cambios en requerimientos de diseño y menor probabilidad de heladas de las turbinas.

Tabla 7.9: Resumen de impactos en generación eólica de acuerdo con PACC del sector energía.

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.

Generación Termoeléctrica

Con respecto a la generación de origen térmico se espera que el aumento de temperatura disminuya la eficiencia de grupos electrógenos, calderas, turbinas, sistemas de enfriamiento y como consecuencia disminución de la capacidad de generación. La disminución de precipitación y caudales causarían el aumento de costos de refrigeración por agua y la reducción de eficiencia de ciclos térmicos. Los eventos extremos producirían daños en infraestructura.

Tabla 7.10: Resumen de impactos en generación termoeléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.

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"> • Daños en la infraestructura de generación por posibles aluviones, vientos extremos, granizos, subidas en el nivel del mar.

C.3.3.3 Impactos en el transporte de Energía

El estudio también se refiere a la infraestructura del transporte de energía, tanto eléctrica como de combustibles.

Infraestructura Eléctrica

El aumento de temperatura esperado provocaría una disminución de la capacidad y eficiencia de la infraestructura de transmisión y distribución. En tanto, los eventos extremos ocasionarían daños en infraestructura, pérdida de eficiencia, aumento de interrupciones, cambios en capacidad y daños de redes y el aumento de los costos de mantención.

Tabla 7.11: Resumen de impactos en infraestructura eléctrica de acuerdo con PACC del sector energía.

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	<p>Heladas; humedad excesiva; vientos extremos; inundaciones; aluviones; olas de calor e incendios</p>	<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; disminución de capacidad de transmisión y distribución. • Aumento de costos de mantención.

Infraestructura asociada al combustible

Para la infraestructura de combustibles eventos extremos como el alza de nivel del mar y el aumento de marejadas provocarían daños en la infraestructura portuaria, refinería, plantas gasíferas, ductos e instalaciones ubicadas en zonas costeras y como consecuencia interrupciones en la internación de combustibles por vías portuarias. El aumento del riesgo de aluviones provocaría daños en infraestructura en zonas de montaña.

Tabla 7.12: Resumen de impactos en Infraestructura asociada al combustible de acuerdo con PACC del sector energía.

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 a toda instalación y equipos que se ubiquen 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

C.3.3.4 Impactos en la Demanda de Energía

Con respecto a los cambios esperados en la demanda de energía el estudio concluye los siguientes puntos.

Demanda de calor y refrigeración

El aumento de la temperatura disminuiría la demanda de calefacción y aumentaría la demanda en enfriamiento. En tanto, la disminución de caudales disminuiría la capacidad de refrigeración y costos en industrias que utilicen este recurso para refrigerar. Adicionalmente, se esperan peaks de temperaturas extremas por olas de calor.

Tabla 7.13: Resumen de impactos en demanda de calor y frío de acuerdo con PACC del sector energía.

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.

Otros factores de demanda

En la tabla de abajo se muestran otros factores que impactarían eventualmente la demanda de energía. El aumento de temperatura disminuiría la eficiencia de equipos de combustión, en tanto la disminución de precipitaciones y caudales tendría como consecuencia el aumento de la competencia por el agua y el aumento de demanda de energía en procesos de bombeo y tratamiento de aguas, el aumento de eventos extremos ocasionaría daños en infraestructura y las sequías aumento en competencia por el agua.

Tabla 7.14: Resumen de impactos en otros factores de demanda de acuerdo con PACC del sector energía.

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.

C.3.4 El plan de adaptación propuesto

Los principios con los que se rige el plan son:

- Resiliencia y sustentabilidad a largo plazo
- Territorialidad
- Rigurosidad e información precisa
- Coherencia y sinergia
- Racionalidad económica

Y a continuación se describen los objetivos y las medidas propuestas en el estudio.

Objetivo general

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

Objetivos Específicos

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

c.3.4.1 Lista de medidas de adaptación propuestas

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

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
Análisis geográficamente más detallados de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre la hidroelectricidad, considerando condiciones medias y condiciones extremas.	Desarrollar información actualizada que permita, tanto al sector público como privado, orientar la ejecución de estudios locales respecto del impacto del cambio climático en la generación de hidroelectricidad, tanto en las condiciones medias como extremas.	2018-2023
Análisis detallados respecto de las proyecciones de impactos del cambio climático sobre otros recursos y tecnologías de generación energética.	Generar información respecto a otros recursos energéticos y tecnologías de generación que sirva de base para la toma de decisiones en el sector energético.	2018-2023 (desarrollo continuo)
Realizar un estudio de riesgo de la infraestructura de generación de energía ante impactos del cambio climático.	Definir la infraestructura de generación de energía eléctrica crítica vulnerable frente a los impactos del cambio climático, para focalizar las medidas de acción y gestión para la adaptación del sector.	2018-2023
Generación distribuida para mejorar la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a los impactos de eventos climáticos extremos.	Conocer el impacto de la generación distribuida como medida para fortalecer la resiliencia de los sistemas eléctricos frente a eventos extremos.	2020-2021

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

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
Estudio de riesgo de la infraestructura de transporte de energía ante eventos extremos climáticos.	Definir la infraestructura de transporte crítica, vulnerable al cambio climático,	2018-2023

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
	para focalizar las medidas de adaptación en el sector energía.	

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

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
Análisis del comportamiento de la demanda energética considerando los impactos del cambio climático.	Estimar la demanda energética futura frente a distintos escenarios climáticos, para considerarla en la planificación energética.	2019 - 2020
Implementar capacidades en gestión de la energía para la industria, para reducir el consumo de energía por aumento de temperaturas.	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.	5 años
Implementar programas de mejoramiento de la eficiencia energética en el sector público para reducir demandas energéticas por aumento de temperaturas.	Reducir la demanda de energía por temperaturas extremas en edificaciones del sector público.	3 años

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

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
Coordinación institucional en los distintos niveles territoriales, para impulsar la adaptación al cambio climático del sector energético.	Integrar los impactos del cambio climático en la toma de decisiones relativa al ámbito energético.	2018 - 2023
Coordinación público-privada.	Desarrollar e intercambiar información sobre impactos y experiencias exitosas en la gestión de la oferta, transporte y demanda de energía, para	5 años

Medida	Objetivo	Plazo propuesto
	aumentar la capacidad adaptativa del sector energía.	
Fortalecer la planificación y gestión del riesgo en el sector energía ante eventos extremos.	Aumentar la capacidad de planificación y respuesta ante eventos extremos producto del cambio climático que afectan al sector energía.	5 años
Promover la resiliencia energética al cambio climático a nivel local, mediante la inclusión de análisis de riesgo climático en comuna energética.	Aumentar la resiliencia energética a nivel local.	2019 - 2023
Integrar los impactos del cambio climático en la planificación de las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia energética.	Analizar de qué manera integrar los impactos del cambio climático en la planificación de las políticas, planes y la legislación/regulaciones existentes en materia energética.	2 años.
Contribuir a la inclusión del análisis del impacto del cambio climático en la evaluación de proyectos energéticos en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA).	Aumentar la prevención y capacidad adaptativa del sistema energético.	2020 - 2023
Generar capacitaciones y elaborar una estrategia comunicacional de largo plazo que permita la difusión y acompañe la implementación del Plan de Adaptación.	Difundir los avances del plan de adaptación y fortalecer las capacidades en materia de adaptación al cambio climático en el sector energía.	2018: Definición de la estrategia de comunicación. 2018-2023: Implementación y seguimiento de las acciones contenidas en la estrategia de comunicación.

C.3.5 Comentarios

En el PACC del sector energía de 2018 se aborda bastante información relevante con respecto a los cambios esperados en el sector energía relativos a cambio climático, como, por ejemplo, las variaciones en la radiación solar, temperatura, recursos eólicos y de biomasa y como estos impactarían el sector. Esta información podría servir de insumo para proyecciones de escenarios energéticos del sector energía y analizar los impactos y posibles mejoras desde el ámbito de la resiliencia del sector.

Con respecto a las metas propuestas en el plan, dado que este es uno de los primeros planes específicos del sector, las metas son en general poco concretas y detalladas al abordar temas de resiliencia en el sector energético desde el punto de vista de mejoras en infraestructura y regulación. En este plan se propone realizar varios estudios, programas y análisis que se consideraron necesarios para continuar avanzando en temas de adaptación del sector. Algunos de estos estudios propuestos fueron efectivamente realizados a posterioridad como por ejemplo el de infraestructura crítica, analizado también en el presente informe.

C.4 Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030

C.4.1 Descripción General

La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD), publicado por la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI), actual Servicio Nacional de prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) en Febrero de 2020, propone las directrices en materias de gestión para la reducción del riesgo de desastres (RRD) para todos aquellos instrumentos de planificación, inversión e intervención que surjan en el país y que emanen de diversos sectores y actores nacionales, contribuyendo con ello a proporcionar un marco común de entendimiento válido, coherente y en sintonía con diversos referentes nacionales e internacionales afines.

El objetivo principal es establecer las directrices para fortalecer la gestión del riesgo de desastres (GRD), impulsadas y coordinadas desde el Estado de Chile, que consideren todo el ciclo de gestión del riesgo, fomentando una articulación sinérgica entre los diversos actores de la sociedad, en pos del desarrollo sostenible y el carácter resiliente de territorios y comunidades.

Este instrumento nacional considera en su estructura: enfoques transversales, principios rectores, la definición de Ejes Prioritarios y Objetivos Estratégicos, los cuales derivan en acciones estratégicas con metas y plazos, y dan vida al Plan Estratégico Nacional de Reducción del Riesgo de Desastres (PENRRD) 2020-2030. La siguiente figura, tomada del documento de origen, sintetiza su estructura general.



Figura 7.3: Estructura de la Política Nacional para la RRD.

A continuación, se presentan las acciones estratégicas por ejes prioritarios que tienen una relación explícita o cuya aplicación tenga injerencia sobre la materia de resiliencia en la infraestructura energética nacional, según criterio del consultor. Luego de cada tabla, se presentan algunas de las metas, plazos e instituciones respectivas, consideradas como relevantes en la materia del presente estudio. Si son varias instituciones, se mencionan solo las relacionadas a infraestructura energética: Ministerio de Energía (MEN), Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), entre otras.

Primero se menciona la institución coordinadora, y luego las instituciones asociadas. Se destaca en Eje 3, la presencia del Ministerio de Energía como institución coordinadora en una de las metas del PNRD: "Incorporación del enfoque RRD en estrategias sostenibles del recurso energético", liderando la Mesa de Resiliencia Energética Local.

Tabla 7.15: Eje 1 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.

Eje 1: Comprender el riesgo de desastres.

Objetivo 1.2. Generar y gestionar el conocimiento científico – técnico sobre el riesgo de desastres, aplicado al territorio nacional para su consideración en la toma de decisiones.

Acción 1.2.2. Generar y disponibilizar data e información, espacial y estadística relacionada a la RRD bajo estándares comunes.

Objetivo 1.3. Contar con herramientas sectoriales y territoriales para la toma de decisiones considerando escenarios de riesgo de desastres.

Acción 1.3.1. Desarrollar escenarios de riesgo de desastres bajo una perspectiva multi - amenaza.

Acción 1.3.2. Desarrollar escenarios de afectación e impacto por desastres o catástrofes, según objetivos, parámetros, usuarios y beneficiarios de interés.



Tabla 7.16: Eje 1 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.

Acción	Metas Eje 1	Plazo	Instituciones
1.2.2.	100% de los organismos técnicos del Estado, vinculados a los indicadores del Marco de Sendai, cuenta con información estadística de RRD sistematizada de acuerdo al estándar definido.	2020 - 2030	ONEMI ⁴³ , Organismos técnicos priorizados.
1.3.1.	Metodología para la identificación y priorización de amenazas y vulnerabilidades en el territorio ha sido actualizada y transferida al Sistema.	2020 - 2024	ONEMI , Organismos técnicos,
1.3.1.	Metodología para el desarrollo de escenarios de riesgo de desastres bajo una perspectiva multi-amenaza para el nivel nacional ha sido elaborada.	2020 - 2027	SUBINTERIOR ⁴⁴ , Centros de Investigación, entre otras.
1.3.1.	Al menos el 25% de comunas han identificado el set de amenazas y vulnerabilidades prioritarias para su territorio.	2020 - 2026	ONEMI , SUBDERE ⁴⁵ , Asoc. Municipios, ONG's afines.
1.3.2.	100% de los Ministerios que forman parte del COE ⁴⁶ (Comité de Operaciones de Emergencia) Nacional aplican metodología para el desarrollo de escenarios de afectación e impacto por desastres.	2020 - 2030	ONEMI , MEN, MTT, MOP, SUBINTERIOR, entre otras.

Tabla 7.17: Eje 2 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.

Eje 2: Fortalecer la gobernanza de la gestión del riesgo de desastres.

Objetivo 2.2. Fortalecer competencias y capacidades para la GRD en todos los niveles de Gobierno.

Acción 2.2.3. Incorporar criterios de gestión del riesgo de desastres en la labor fiscalizadora y sancionatoria de los órganos del Estado afines.

Acción 2.2.4. Fortalecer la gestión de los gobiernos locales en materias de GRD y RRD.

Objetivo 2.3. Incorporar en las políticas, planes y programas del Estado -según corresponda - el enfoque de RRD.

Acción 2.3.1. Incorporar lineamientos de GRD en políticas sectoriales y sus respectivos planes y programas derivados.

⁴³ Oficina Nacional de Emergencias. Actual SENAPRED.

⁴⁴ Subsecretaría del Interior.

⁴⁵ Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.

⁴⁶ Actual Comité de Gestión del Riesgo de Desastres (COGRID).



Objetivo 2.4. Fomentar el rol de los distintos actores de la sociedad en la co-construcción de iniciativas para la GRD.

Acción 2.4.2. Generar incentivos para la participación del sector privado en iniciativas para la RRD.33

Tabla 7.18: Eje 2 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.

Acción	Metas Eje 2	Plazo	Instituciones
2.2.3.	El 75% de los órganos con facultad fiscalizadora y sancionatoria afines del gobierno central, han incorporado criterios de GRD ó RRD.	2020 - 2026	ONEMI, SUBINTERIOR, SEC, SMA⁴⁷, entre otras.
2.2.4.	Lineamiento Municipal que regule aspectos priorizados de RRD ó GRD, ha sido formulado.	2020 - 2024	ONEMI, Asoc. Municipios, PNUD, entre otras.
2.3.1.	El 100% de ministerios que incorporaron la GRD en sus políticas sectoriales al 2022, ha implementado los planes, programas e iniciativas que componen dichos instrumentos.	2022 - 2030	ONEMI, Ministerios (MEN, MTT, MOP, entre otros).
2.4.2.	Estrategia de sensibilización que inste a la RRD ó GRD en sectores productivos priorizados, ha sido diseñada e implementada.	2020 - 2026	ONEMI, MINECON⁴⁸, Ministerio de Hacienda, MinInterior⁴⁹, entre otras.

Tabla 7.19: Eje 3 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.

Eje 3: Planificar e invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.

Objetivo 3.1. Implementar medidas estructurales para la RRD y el desarrollo de infraestructura resiliente ante desastres.

Acción 3.1.1. Implementar medidas estructurales para reducir la vulnerabilidad física de edificaciones e infraestructura críticas.

Acción 3.1.3. Propiciar el desarrollo de infraestructura verde y azul considerando el enfoque de RRD.

⁴⁷ Superintendencia del Medio Ambiente,

⁴⁸ Ministerio de Economía, Fomento y Turismo

⁴⁹ Ministerio del Interior y Seguridad Pública



Acción 3.1.4. Fomentar la inversión privada y pública en medidas tendientes a la resiliencia de sistemas físicos, sociales y ambientales.

Objetivo 3.2. Implementar medidas no estructurales para la RRD, contando con mecanismos formales para que los distintos actores promuevan una cultura de resiliencia en sus territorios.

Acción 3.2.1. Garantizar la continuidad operacional de servicios básicos/críticos.

Acción 3.2.2. Revisar y generar nueva normativa técnica chilena, y actualizar la existente en: diseño estructural, ensayos de control de calidad, mecánica de suelos, métodos constructivos, inspecciones técnicas y otras vinculadas a la RRD.

Objetivo 3.5. Proponer estrategias de adaptación al impacto del cambio climático vinculadas a la RRD.

Acción 3.5.2. Incorporar el enfoque de RRD en estrategias sostenibles del recurso hídrico.

Acción 3.5.3. Incorporar el enfoque de RRD en estrategias sostenibles del recurso energético.

Tabla 7.20: Eje 3 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.

Acción	Metas Eje 3	Plazo	Instituciones
3.1.1.	Diagnóstico ha sido realizado por sector de infraestructuras críticas construidas al 2015.	2020 - 2024	ONEMI, SUBINTERIOR, MOP, MEN, MTT, entre otras.
3.1.1.	Cartera de proyectos priorizados por cada sector según diagnóstico (meta anterior), con un horizonte de implementación de medidas estructurales al 2030.	2020 - 2030	ONEMI, SUBINTERIOR, MOP, MEN, MTT, entre otras.
3.1.1.	Documento con criterios de resiliencia de infraestructura ha sido incorporado formalmente en las Normas, Instrucciones y Procedimientos de Inversión Pública (NIP) y en los Requisitos de Información Sectorial (RIS) del Sistema Nacional de Inversiones.	2020 - 2023	MDSF ⁵⁰ , Ministerio de Hacienda, MEN, MTT, entre otras.
3.1.3.	Programa de inversión pública que financie medidas estructurales asociadas a infraestructura de protección, verde y azul, diseñado.	2020 - 2026	MOP, MTT, MINVU ⁵¹ , entre otras.

⁵⁰ Ministerio de Desarrollo Social y Familia

⁵¹ Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Acción	Metas Eje 3	Plazo	Instituciones
3.1.4.	Mapa de caracterización de inversiones públicas y privadas destinadas a medidas estructurales tendientes a lograr la resiliencia de diversos sistemas, ha sido elaborado y se actualiza anualmente.	2020 - 2025	Ministerio de Hacienda, MOP, MEN, CORFO, ONEMI, entre otras.
3.1.4.	Estudio de costo de inacción de medidas preventivas para un sector en particular, se ha elaborado.	2020 - 2026	Ministerio de Hacienda, MOP, MEN, ONEMI, entre otras.
3.2.1.	Instrucción para que cada sector que preste servicios críticos/básicos implemente en los proveedores de servicios, la incorporación de planes de continuidad operacional.	2020 - 2024	ONEMI, MOP, SEC, MEN, MTT, Asoc. o consorcios empresariales afines a sectores críticos básicos, entre otras.
3.2.2.	Al menos 5 anteproyectos de normativas técnicas presentadas al organismo competente.	2020 - 2030	MINVU, Instituto Nacional de Normalización, entre otras.
3.5.2.	Lineamiento transversal de GRD se ha plasmado en la nueva Estrategia Nacional de Recursos Hídricos que se renovará a partir del 2025.	2020 - 2026	MOP, ONEMI, CNID, Fundación Chile, entre otras.
3.5.3.	Instrumento que incorpore temáticas de resiliencia en la planificación estratégica energética de largo plazo.	2020 - 2021	MEN, SEC, CORFO, ONEMI.

Tabla 7.21: Eje 4 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.

Eje 4: Proporcionar una respuesta eficiente y eficaz

Objetivo 4.1. Fortalecer los sistemas de alerta temprana (SAT), de monitoreo, de evacuación y de comunicaciones.

Acción 4.1.1. Desarrollar o robustecer los sistemas de monitoreo y alerta temprana multi amenazas que garanticen información oportuna y accesible.

Acción 4.1.3. Desarrollar y actualizar sistemas que permitan comunicación robusta en fase de respuesta, bajo un estándar común y conocido.

Tabla 7.22: Eje 4 - metas y plazos seleccionadas del PENRDD.

Acción	Metas Eje 4	Plazo	Instituciones
4.1.1.	Sistema que vincula/integre al menos dos amenazas o Redes de Monitoreo de determinadas amenazas, operando.	2020 - 2029	SUBINTERIOR, ONEMI, Organismos técnicos de monitoreo y alerta temprana.
4.1.3.	Red de Telecomunicaciones de Misión Crítica de Emergencia, ha sido implementada.	2020 - 2030	MinInterior, SUBINTERIOR, ONEMI, Ministerio de Defensa Nacional, entre otras.

Tabla 7.23: Eje 5 - Objetivos y acciones estratégicas seleccionadas del PENRDD.

Eje 5: Fomentar una recuperación sostenible

Objetivo 5.1. Generar una metodología que permita analizar y difundir la relación entre inversión en prevención y gasto en respuesta y recuperación según origen de la amenaza.

Acción 5.1.3. Generar una metodología que permita analizar y difundir la relación entre inversión en prevención y gasto en respuesta y recuperación según origen de la amenaza.

Tabla 7.24: Eje 5 - Metas y plazos seleccionadas del PENRDD.

Acción	Metas Eje 5	Plazo	Instituciones
5.1.3.	Metodología de estimación de la relación entre inversión y gastos, ha sido diseñada para un sector definido como de interés/prioritario.	2020 - 2024	ONEMI, Ministerio de Hacienda, MOP, entre otras.

Otros objetivos y que no son directamente asociados a resiliencia en infraestructura energética, pero que tienen como responsables a instituciones de la materia, son:

- 4.1.2. (MTT) Desarrollar y mejorar sistemas de evacuación por diversas amenazas.
 - Meta: Informe de diagnóstico de los sistemas de evacuación existentes, según amenazas presentes, ha sido elaborado por cada región. Plazo 2020-2024.
- 4.4.1. (MEN, MTT) Levantar periódicamente capacidades disponibles para el Sistema.
 - Meta 1: 100% de los organismos de respuesta, tienen identificadas sus capacidades al 2021. Plazo: 2020-2022.



- Meta 2: 100% de los organismos de respuesta, actualizan anualmente el levantamiento de capacidades desde el 2022. Plazo: 2022-2030.
- 5.1.1. (MEN) Diseñar y validar una metodología para la cuantificación de las pérdidas económicas causadas directamente por desastres en relación al Producto Interno Bruto (PIB).
 - Meta: 100% de los sectores convocados en la Meta C del Marco de Sendai, diseñan y adoptan una metodología para la cuantificación económica de pérdidas directas. Plazo: 2020-2026.

Chile dará cuenta a la comunidad internacional de los avances alcanzados en las metas y plazos definidas en el PENRRD, y es importante destacar la vinculación directa de este plan estratégico con el cumplimiento del Marco de Sendai para la RRD, lo cual da cuenta del nivel de compromiso adquirido.

C.4.2 Comentarios

Si bien el propósito principal de esta política nacional y consiguiente plan estratégico nacional es entorno a la reducción de riesgo de desastre, y no explícitamente de resiliencia, se da cuenta de la relación que tienen ambos conceptos mediante las metas establecidas. Gran parte del 3er eje estratégico está enfocado a la infraestructura crítica resiliente, con mención permanente a la infraestructura energética, de transporte y telecomunicaciones, y sus respectivos ministerios.

Finalmente, este documento permite identificar cómo la resiliencia en la infraestructura energética es uno de los pilares fundamentales en la reducción del riesgo de desastres.

C.5 Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)

C.5.1 Descripción general

“El Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático⁵², propone como parte de su objetivo central el reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del país frente a los efectos adversos del cambio climático, estableciendo instrumentos de gestión a nivel regional, comunal y sectorial, y los organismos responsables de su elaboración, actualización e implementación. Adicionalmente, queda establecido dentro del Proyecto de Ley que, a través de la ECLP, se establecen los principales lineamientos, objetivos y metas para avanzar hacia la resiliencia climática al 2050.” (Gobierno de Chile, 2021)

De acuerdo al documento revisado, se define adaptación de la siguiente forma: “La adaptación es un proceso de planificación del desarrollo a nivel de país, región y comuna para hacer frente a los impactos y riesgos climáticos, con el objeto de reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia a los efectos adversos del cambio climático. Este proceso se inicia con la identificación

⁵² Al momento de publicación de la ECLP la LMCC estaba en estado de proyecto de ley. Esta ley fue posteriormente, promulgada en el año 2022.

y evaluación de los riesgos climáticos presentes y futuros que afectan los territorios, sistemas naturales, humanos y productivos. Contando con esta base de información, se inicia una fase de identificación y diseño de medidas de adaptación, cuyo objetivo es enfrentar y minimizar los riesgos identificados. La implementación de estas medidas puede abocarse a reducir los grados de exposición frente a las amenazas, o a disminuir la vulnerabilidad frente a ellas o aumentar la capacidad de adaptación, de acuerdo con lo que resulte como solución más adecuada y costo efectiva. Posteriormente, la fase de monitoreo y evaluación busca hacer el seguimiento, medir la efectividad de estas medidas e incorporar los aprendizajes, en un ciclo continuo que nos permita aumentar la resiliencia del país.”

En este reporte se usa el mismo marco conceptual del IPCC descrito en la sección 1.5.1.

C.5.2 Lineamientos de la adaptación a nivel nacional, sectorial, regional y comunal

En el estudio se proponen un conjunto de objetivos de largo plazo que se pueden resumir en los siguientes lineamientos:

- Fortalecer la gobernanza sectorial a diferentes escalas del territorio, instalando capacidades en las instituciones públicas y en la diversidad de partes interesadas de cada sector, y profundizando la participación ciudadana en el desarrollo de las políticas de cambio climático sectoriales.
- Profundizar y ampliar el conocimiento científico, el desarrollo tecnológico en los distintos sectores, así como en la interacciones y sinergias entre ellos, para respaldar la toma de decisiones.
- Reducir el riesgo frente a los impactos del cambio climático, a través de un enfoque integrado en las políticas e instrumentos, que reduzcan la vulnerabilidad, la exposición y aumente la capacidad de adaptación, monitoreando la evolución del riesgo en función de las amenazas climáticas cambiantes.
- Integrar el cambio climático en los instrumentos de política sectorial a escala del territorio, reconociendo la diversidad de impactos y de realidades locales.
- Implementar acciones privilegiando las Soluciones basadas en la naturaleza.
- Proteger, restaurar, evitar y reducir la degradación de los ecosistemas mediante la promoción del uso, producción y consumo sustentable de los recursos naturales.
- Fomentar competencias productivas sustentables en el sector pesquero y acuícola, agrícola, pecuario y forestal, considerando la adaptación al cambio climático de manera de contribuir a la seguridad alimentaria y a la sustentabilidad de los recursos naturales.
- Promover la seguridad hídrica para consumo humano y saneamiento, y provisión de agua para los ecosistemas y las actividades productivas, contribuyendo al uso eficiente de los recursos hídricos en los territorios.

En la realización del informe se constata que el fenómeno en Chile se encuentra en un estado incipiente de estudio, por lo que uno de los desafíos será generar acciones que permitan avanzar hacia una agenda de investigación para la obtención de datos que orienten futuras políticas públicas.



Los compromisos para avanzar en la materia son:

- Al 2023, se habrán incorporado aspectos transversales de gestión del riesgo de desastres (GRD) o reducción del riesgo de desastres (RRD) en los planes de trabajo de los Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC)- (ONEMI, Ministerio del Medio Ambiente).
- Al 2025, se contará con un programa de sensibilización respecto de la vinculación de la Reducción del Riesgo de Desastre y el Cambio Climático en temáticas afines (ej.: movilidad humana) - (ONEMI, Ministerio del Medio Ambiente).

En el informe también se identifican conceptos adicionales relacionados a los riesgos por cambio climático que se describen a continuación

“Necesidades de grupos vulnerables: El cambio climático afectará especialmente a los grupos más vulnerables, agravando condiciones de vulnerabilidad preexistentes. Es por ello que el diseño de instrumentos y medidas de adaptación deberán priorizar estos grupos, incorporando enfoques e indicadores diferenciados que permitan evaluar su vulnerabilidad, con el objetivo de identificar sus necesidades específica de adaptación.”

“Facilitación de la participación del sector privado en la adaptación al cambio climático: Dependiendo de su actividad y el sector al cual pertenecen, pueden verse fuertemente afectadas por impactos directos o indirectos sobre sus propias operaciones o sobre otros componentes de su cadena de valor, afectando a sus clientes, proveedores, a su entorno territorial y las comunidades en donde desarrollan sus actividades o debido a cambios normativos o los patrones de consumo de sus productos. Asimismo, las empresas se encuentran en una excelente posición respecto a visualizar y capitalizar los potenciales beneficio de la adaptación. Contar con una estrategia de largo plazo que fije lineamientos y prioridades de adaptación entrega una señal de claridad para el sector privado, evitando inversiones inconsistentes con un desarrollo resiliente y sustentable.”

“Soluciones basadas en naturaleza: Se ha planteado como un objetivo fundamental, tanto en la NDC de Chile, como en esta ECLP, considerar las soluciones basadas en la naturaleza, tanto para la adaptación como para la mitigación, preocupación que también se debe abordar desde el plano subnacional. Considerando la diversidad del territorio nacional, donde existen importantes diferencias en términos de riesgo y vulnerabilidad entre sectores, ecosistemas, grupos y territorios, es fundamental contar con información sobre los impactos del cambio climático para la toma de decisiones. Con este propósito se creó el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím), una herramienta viva en forma de plataforma web integrada y dinámica con cobertura para todo el territorio nacional y resolución comunal, que presenta el riesgo relativo frente al cambio climático, considerando proyecciones bajo el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero RCP8.5 del IPCC.”

C.5.3 Indicadores para monitoreo, reporte, verificación (MRV) y evaluación de la adaptación en el largo plazo

El MRV y la evaluación permite identificar las necesidades de adaptación, medir avances en el progreso de la implementación de las medidas, la eficacia de estas, e incorporar los aprendizajes obtenidos en la evaluación, en un proceso de mejoramiento continuo que busca incrementar la resiliencia del país. Los compromisos mencionados, separados en indicadores de proceso y de resultados, en el informe con respecto al desarrollo de indicadores MRV son:

Indicadores de proceso

- “Al 2023, en el marco del NAP se iniciará la implementación del Monitoreo, Reporte, Verificación y Evaluación de indicadores de proceso para la adaptación al cambio climático del país, el que incluirá medidas de adaptación a nivel nacional y de los planes sectoriales. El diseño de MRV&E considerará estandarizar procesos e indicadores y establecer criterios comunes que los hagan comparables y confiables, como también dar transparencia al proceso de monitoreo y evaluación. El MRV&E será una herramienta viva, que se actualizará de forma permanente, incorporando los resultados de la implementación de los planes señalados y sus actualizaciones correspondientes. Será de acceso público y permitirá mejorar el reporte del progreso en adaptación a nivel nacional y territorial a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, mediante los Informes Bienales de Transparencia, las Comunicaciones Nacionales y la Comunicación de Adaptación.”

Indicadores de resultados

- “Al 2022, Chile se contará al menos, con un indicador de resultados (progreso y eficacia) por cada uno de los 11 sectores priorizados en materia de adaptación, avanzando hacia la evaluación de la eficacia de la adaptación.”
- “Al 2022, se habrá definido un marco de gobernanza y una hoja de ruta de largo plazo para la construcción de un sistema de indicadores de vulnerabilidad y adaptación, que permita consensuar un trabajo permanente y sostenido en el tiempo, con criterios comunes y con una participación amplia y multiactoral, tanto de la academia, del sector privado y ONGs, de manera de disponer de un sistema de monitoreo, reporte y evaluación robusto, legitimado y transparente de la adaptación.”
- “Al 2025, se contará con un sistema de indicadores de vulnerabilidad y adaptación, a través de indicadores de progreso y de resultado para todos los instrumentos de adaptación de cambio climático. Esto se traducirá en una herramienta viva, de acceso público y con actualización permanente, que permitirá mejorar el reporte de la eficacia en adaptación a nivel nacional y territorios.”

C.5.4 Objetivos y metas relacionados con adaptación y resiliencia.

En esta sección se realiza una selección de objetivos y metas propuestos en el estudio, relacionados con adaptación y resiliencia del sector energía.

Energía

Objetivo 5: Descentralización y diversificación de los recursos energéticos para un sector energético más resiliente y bajo en emisiones, incluyendo tanto el autoconsumo de energía como las tecnologías renovables de gran escala.

- Meta 5.1: Al 2025, se habrá retirado y/o reconvertido el 65% de las unidades generadoras termoeléctricas a carbón del sistema eléctrico nacional.
- Meta 5.2: Al 2030, el 80% de la energía producida para la generación eléctrica del país proviene de generación de energías renovables, enfatizando que los sistemas eléctricos deberán estar preparados para lograrlo.
- Meta 5.3: Trabajaremos para generar los espacios que permitan retirar y/o reconvertir totalmente las centrales a carbón del sistema eléctrico nacional en los primeros años de la próxima década.
- Meta 5.4: Al 2050, el 100% de la energía producida para la generación eléctrica del país proviene de fuentes de energía cero emisiones.

Objetivo 6: Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y facilitar su integración en el desarrollo y gestión del sector energía.

- Meta 6.1: Al 2030, la regulación, la planificación y la normativa energética, incluyendo los sectores de electricidad y combustibles, incorporan explícitamente la resiliencia y adaptación al cambio climático. Para ello, se deberán adoptar herramientas tales como el análisis de escenarios e índices de riesgo frente a amenazas del cambio climático, así como facilitar la introducción de soluciones tecnológicas, digitales y de otros tipos (por ejemplo, sistemas de almacenamiento) para reducir los tiempos de reposición de los servicios energéticos ante emergencias.
- Meta 6.2: Al 2040, el país cuenta con altos estándares a nivel mundial en confiabilidad y resiliencia del sistema energético (eléctrico y en sector combustibles), siendo un modelo de integración de energías renovables a seguir por otros países.
- Meta 6.3: Al 2050, el 100% de las comunas y regiones del país disponen de planes implementados de reducción de riesgos y emergencias del sector energético.

Minería

Objetivo 5: Incorporar criterios de adaptación y riesgo al cambio climático en el diseño y operación de las faenas mineras con un foco multidisciplinario y local (considerando toda la infraestructura necesaria: faenas de alta montaña y en borde costero).



- Meta 5.1: Al 2022, contar con un Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático del Sector Minero en línea con el Acuerdo de París y PANCC, y su posterior monitoreo y actualización cada 5 años.
- Meta 5.2: Al 2025, priorizar la elaboración de un plan de acción tecnológico del sector minero, en el marco de la estrategia de desarrollo y transferencia tecnológica para el cambio climático.

Silvoagropecuario

Objetivo 4: Disminuir la vulnerabilidad y generar resiliencia en el sector silvoagropecuario, potenciando la implementación de medidas de adaptación al cambio climático, para contribuir a la seguridad alimentaria.

- Meta 4.1: Implementar el Plan de Adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario 2023-2027.
- Meta 4.2: Al 2025, elaborar y monitorear indicadores para la adaptación del Sector Silvoagropecuario.
- Meta 4.3: Al 2025, diseñar el Plan de acción de recursos hídricos de los servicios MINAGRI que considere un enfoque en cambio climático en coordinación con el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio del Medio Ambiente.
- Meta 4.4: Al 2025, contar con conservación ex situ de variedades vegetales claves para la adaptación y mitigación al cambio climático.
- Meta 4.5: Al 2025, desarrollar 3 pilotos de mercados campesinos locales con consideraciones de acción climática.
- Meta 4.6: Al 2030, realizar evaluación de impacto de Plan de adaptación Nacional de Cambio Climático para el sector Silvoagropecuario (PANCC SAP 2023-2027), y elaborar el nuevo plan de adaptación sectorial de carácter público-privado.
- Meta 4.7: Al 2030, evaluar los indicadores de adaptación del sector Silvoagropecuario.
- Meta 4.8: Al 2030, evaluar los resultados de la implementación para la actualización del plan de acción de recursos hídricos del MINAGRI.
- Meta 4.9: Al 2030, contar con a lo menos 1 mercado campesino local por región con consideraciones de acción climática.
- Meta 4.10: Al 2050, actualizar el plan de acción de recursos hídricos del MINAGRI.

Infraestructura

Objetivo 4: Avanzar en el desarrollo de un sistema de planificación multisectorial de infraestructura sostenible que incorpore las condicionantes del territorio con una gobernanza adecuada, contando con una articulación público-privada, a fin de fomentar que los servicios que presta la infraestructura del país (conectividad multimodal (terrestre, marítima y aérea), de protección del territorio, de provisión de agua potable, entre otras) sean sustentables, baja en carbono y resilientes al clima actual y futuro, y que puedan generar beneficios sociales, ambientales y territoriales por medio de la misma integración multisectorial (ciudades, energía, recursos hídricos y otros).



- Meta 4.1: Al 2030, elaborar en los procesos de planificación ministerial un mecanismo de gobernanza que permita articular a los partes relacionados con la provisión de infraestructura y edificación pública que requiere el país para hacer frente al cambio climático, tanto en materia de adaptación como mitigación (academia, sociedad civil, otros sectores del Estado, entre otros).
- Meta 4.2: Al 2050, aplicación de al menos en un 40%, del marco de gobernanza climática multisectorial en los procesos de planificación de infraestructura y edificación pública ministerial.

Objetivo 5: Avanzar en el desarrollo de un sistema de monitoreo de riesgos, bajo un enfoque de resiliencia. Es decir, identificando vulnerabilidad, exposición y sensibilidad de esta.

- Meta 5.1: Al 2030, generar/adecuar un sistema de monitoreo de la infraestructura, a través del enfoque de riesgo climático.
- Meta 5.2: Al 2050, contar con al menos el 50% de monitoreo de la infraestructura y edificaciones construidas, en función de los riegos climáticos del país.

Borde Costero

Objetivo 1: Incrementar y disponer la información y estudios del borde costero y el desarrollo de tecnologías del océano.

- Meta 1.1: Al 2025, contar con una base de datos que contenga los antecedentes geográficos y atributos sistematizados de la totalidad de las concesiones marítimas y acuícolas, así como también las otras afectaciones ubicadas en el Borde Costero.
- Meta 1.2: Al 2025, contar con un Geoportal para la visualización y descarga de la información de concesiones marítimas y de otras afectaciones de libre acceso a la ciudadanía.
- Meta 1.3: Al 2030, cumpliendo las metas 1.1 y 1.2, contar con diversos diagnósticos que permitan identificar concentración de actividades, vocaciones territoriales y análisis de riesgo para la infraestructura crítica y estratégica como también, para otras instalaciones esenciales vulnerables del borde costero.
- Meta 1.4: Integrar las distintas plataformas de datos que existen a nivel nacional en apoyo a estudios relacionados al cambio climático.
- Meta 1.5: Al 2030, actualizar el Plan Oceanográfico Nacional, que establece en forma sistemática las actividades científicas oceanográficas nacionales.
- Meta 1.6: Al 2050, contribuir con el desarrollo de programas o proyectos de observación sistémica en aspectos de oceanografía, meteorología y glaciología.
- Meta 1.7: Contribuir a las iniciativas que está llevando a cabo el Ministerio de Ciencia, Conocimiento, Tecnología e Innovación, para la creación de un Observatorio de Cambio Climático (OCC) y la implementación del Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC).

Objetivo 3: Contribuir a la gestión de riesgos de desastres y la adaptación al cambio climático a través de la promoción de una ocupación segura y resiliente del Borde costero.

- Meta 3.1: Al 2025, incluir en la actualización de la Política Nacional de Uso del Borde Costero, en planes u otros instrumentos sectoriales consideraciones relacionadas a la gestión del riesgo ante desastres.
- Meta 3.2: Al 2025, incorporar en el Reglamento de Concesiones Marítimas (CCMM), criterios que permita ponderar positivamente el otorgamiento de concesiones marítimas que contribuyan a la reducción de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático, tales como: infraestructura de protección costera y fluvial, infraestructura verde de resiliencia, etc. Estos criterios de ponderación se materializarán en la opción de poder acceder a concesión marina rebajada, y de preferencia en caso de sobreposiciones con otras solicitudes que no cuenten con criterios de preferencia en cuanto a la gestión de riesgo de desastres, sin perjuicio de lo dispuesto en la Ley N°20.249 y su Reglamento.

Recursos Hídricos

Objetivo 1: Promover la seguridad hídrica, priorizando el abastecimiento para consumo humano, seguido de la provisión de agua para los ecosistemas y, luego, las actividades productivas estratégicas.

- Meta 1.1: Al 2025, contar con definición de seguridad hídrica para Chile validada y publicada por la Dirección General de Aguas o cualquier institucionalidad con las competencias del Ministerio de Obras Públicas. Además, incorpora el concepto validado de seguridad hídrica en los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas y sus actualizaciones.
- Meta 1.2: Revisión y seguimiento de metas para el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS6), sobre agua limpia y saneamiento; específicamente contribuir con reportes e información de forma permanente, para construir los indicadores para el ODS6, junto con mantener comunicación permanente con los organismos custodios y aquellos organismos nacionales relevantes en el proceso. Esto en el marco de las atribuciones y prioridades que tenga la Dirección General de Aguas.

Objetivo 2: Incentivar la gestión integrada de cuencas hidrográficas apuntando a la búsqueda de soluciones innovadoras que indaguen prospectivamente la brecha entre la oferta y la demanda de agua.

- Meta 2.1: Elaborar, actualizar y hacer seguimiento de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, de manera permanente. Al 2030, todas las cuencas contarán con un Plan Estratégico de Gestión Hídrica.
- Meta 2.2: Realizar estudios que analicen la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como alternativa de manejo del agua en las principales cuencas del país.

- Meta 2.3: Estudiar posibles mejoras en los instrumentos públicos y privados para minimizar los efectos de la extrema sequía, consumo humano y saneamiento, tales como acuerdos voluntarios de redistribución de las aguas o los decretos de escasez de la Dirección General de Aguas.
- Meta 2.4: Al 2030, contar con una batería de proyectos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) aplicables a las cuencas de Chile.
- Meta 2.5: Al 2050, como parte del proceso de implementación de los PEGH, evaluar la robustez de las medidas de adaptación al cambio climático, en el corto, mediano y largo plazo.
- Meta 2.6: Al 2050, realizar estudios de diagnóstico del estado de la gobernanza en todos los procesos de actualización de los PEGH.

Gestión del cambio climático a nivel regional y local

Objetivo 1: Desarrollar Planes de Acción Regionales de Cambio Climático (PARCC) y Planes de Acción Comunales de Cambio Climático (PACCC) que consideren las visiones, objetivos y metas de la ECLP al 2050

- Meta 1.1: Al 2025, el 50% de los municipios de Chile estará registrado y con acceso a la herramienta de cuantificación de emisiones de GEI a nivel comunal, del Programa HuellaChile.
- Meta 1.2: Al 2030, los CORECC y Gobiernos Regionales habrán desarrollado PARCCs en las 16 regiones del país, integrando los objetivos y metas de la Estrategia Climática de Largo Plazo.
- Meta 1.3: Al 2030, el 80% de los Municipios SCAM en nivel «Gobernanza Ambiental» declaren acciones de mitigación implementadas en la comuna.
- Meta 1.4: Al 2035, 50% de las municipalidades certificadas a través del programa SCAM cuente con un inventario comunal (territorial) auto declarado, a través del programa HuellaChile del MMA u otro estándar reconocido internacionalmente, como el Protocolo Global para Inventarios de Emisión de GEI a Escala Comunitaria (GPC).
- Meta 1.5: Al 2040, se habrán desarrollado PACCC en al menos 100% de las municipalidades de SCAM, integrando los objetivos y metas de la Estrategia Climática de Largo Plazo.

Objetivo 2: Fomentar la integración de criterios de adaptación y mitigación al cambio climático en instrumentos de planificación y ordenamiento territorial de la política pública regional y comunal.

- Meta 2.1: Al 2030, 60% de las Municipalidades certificadas a través del programa SCAM habrán integrado criterios de cambio climático en sus Planes Reguladores Comunales y en sus Planes Comunales de Desarrollo.
- Meta 2.2: Al 2030, 80% de los Gobiernos Regionales habrán integrado el cambio climático en las Estrategias Regionales de Desarrollo (ERD).



- Meta 2.3: Al 2030, el 100% de Gobiernos Regionales habrán integrado criterios de cambio climático, a través de la evaluación ambiental estratégica, en los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial y la Zonificación de Borde Costero.
- Meta 2.4: Al 2040, el 100% de los Instrumentos de Planificación Territorial integrarán criterios de cambio climático, a través de la Evaluación Ambiental Estratégica.

C.5.5 Comentarios

La ECLP presenta un análisis y propuesta completa y detallada sobre medidas y metas que abordan el desafío de cambio climático y las metas establecidas a nivel nacional con respecto a carbono neutralidad. En el contexto de la Ley Marco de Cambio Climático la ECLP constituye un pilar fundamental para definir lineamientos a nivel nacional para abordar el cambio climático.

Con respecto a las metas propuestas en la estrategia, estas son detalladas y, en general ambiciosas, con metas concretas que van en línea de la mitigación, adaptación y resiliencia. Las metas descritas en este plan son fundamentales para desarrollar futuros estudios de escenarios climáticos y resiliencia en todos los sectores de la sociedad y establecer una hoja de ruta para desarrollar políticas públicas alineadas con las metas auto establecidas a nivel nacional

C.6 Plan de Adaptación Nacional al Cambio Climático Sector Silvoagropecuario 2022

C.6.1 Descripción general

El PANCC SAP, a implementar entre el 2023 y el 2027, fue desarrollado por el Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI) y corresponde al Anteproyecto borrador del “Plan nacional de adaptación al cambio climático sector silvoagropecuario (SAP)”, con fecha noviembre 2022.

El plan está integrado por 12 medidas y 76 acciones de adaptación. Su alcance es nacional pero su expresión es territorial (diferenciación por macrozona o nivel subnacional). Se estima que su implementación tiene un costo promedio anual de 89 millones de USD (0,035% del PIB nacional y 1,21% del PIB silvoagropecuario), evitando, al año 2050, un costo de inacción del orden de los 1.000 millones de USD. Para su seguimiento y monitoreo se ha diseñado un sistema de información integrado por indicadores de proceso y de resultados.

Los efectos a los que ha estado sujeto el sector SAP producto del cambio climático son de alto impacto, en particular, los cambios observados en las temperaturas extremas, la presencia de granizos, las ondas de calor y frío, las heladas, las lluvias extremas, los incendios forestales y la megasequía que ha afectado a la zona centro y centro-sur del país, generando altos gastos públicos derivados de la declaración de emergencias agrícolas.

En el caso de los recursos hídricos, relacionado a la generación hidroeléctrica, algunos autores proyectan una disminución de caudales anuales en casi todos los escenarios climáticos futuros, afectando la disponibilidad de los recursos hídricos en todo el país.

Principales aspectos del proceso de construcción del PANCC SAP 2023 – 2027

A grandes rasgos, el proceso se dividió en tres etapas sucesivas: una primera de diagnóstico; una segunda de análisis y priorización de medidas y acciones de adaptación; y una última de validación con expertos y actores claves del sector. El Plan resultante, tiene un carácter de Anteproyecto y se encuentra a la espera de la promulgación del cuerpo reglamentario de la Ley Marco de Cambio Climático, la que permitirá la conclusión del proceso realizado mediante la ejecución de la consulta ciudadana participativa respectiva.

El objetivo general es contribuir a reducir la vulnerabilidad de los productores y productoras silvoagropecuarios del país y de sus sistemas productivos, a las amenazas derivadas del cambio climático, considerando el enfoque de género, la multiculturalidad y la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza (SBN).

Relacionado con la resiliencia, se busca aumentar la resiliencia de los sistemas productivos SAP y su capacidad de adaptación al CC, mediante la protección, conservación, restauración y uso sustentable de los recursos naturales que los rodean y les otorgan servicios ecosistémicos.

Otro objetivo interesante, relacionado con los sistemas de información, planes de acción y contingencias, menciona el contribuir a mejorar la gestión de los riesgos agrometeorológicos que impactan a los sistemas productivos SAP, mediante la reducción de la brecha informativa y tecnológica que afecta a los productores y productoras, especialmente, a los más vulnerables, a través del fortalecimiento de los sistemas de información de riesgos y el diseño y ejecución participativa de planes de acción y contingencia.

C.6.2 Líneas estratégicas y medidas del PANCC SAP

Líneas estratégicas ordenadoras de las medidas de adaptación

1. Manejo silvoagropecuario e integración de técnicas para la adaptación
2. Gestión integrada del recurso hídrico
3. Fomento de la sustentabilidad agroambiental
4. Implementación de infraestructura y equipamiento productivo para la adaptación: incluye la construcción de obras de infraestructura y la dotación de equipamiento.
5. Gestión de riesgos agrometeorológicos: incluye acciones de monitoreo, predicción y generación de alertas frente a eventos agrometeorológicos extremos y a condiciones que propician el riesgo de incendios en orden a apoyar la prevención, mitigación de impactos y la adaptación a las condiciones que los generan. Algunos corresponden a riesgos similares del sector energía.

Condiciones habilitantes para dar sostenibilidad al PANCC SAP

Varias de las medidas habilitantes son similares a las que se podrían dar en el caso del sector energía y que se observan en varios de los países revisados.

1. Implementación de sistemas de apoyo al proceso productivo
2. Fortalecimiento de la coordinación entre instituciones
3. Adecuación y creación de instrumentos legales, normativos y financieros
4. Fortalecimiento de iniciativas de planificación territorial
5. Creación y fortalecimiento de capacidades en género
6. Incorporación de consideraciones multiculturales para la inclusión

Medidas de adaptación del PANCC SAP

A continuación, se listan y comentan algunas de las medidas, principalmente relacionados con los temas de resiliencia.

Medida 1. Incorporar medidas de manejo silvoagropecuario y técnicas específicas para la adaptación al cambio climático.

Medida 2. Implementar métodos de obtención y reserva de agua intrapredial para hacer frente al déficit hídrico que impone el cambio climático.

Medida 3. Implementar tecnologías y acciones que aumenten la eficiencia del riego contribuyendo a enfrentar el déficit hídrico derivado del cambio climático. Puede estar relacionada a la competencia por el agua con sector generación eléctrica.

Medida 4. Mejoramiento de la infraestructura y la gestión hídrica extrapredial para la adaptación al déficit hídrico impuesto por el cambio climático. Puede estar relacionada a la competencia por el agua con sector generación eléctrica.

Medida 5. Promover la conservación y restauración de ecosistemas naturales que sostienen a los sistemas productivos silvoagropecuarios y que contribuyen a su adaptación al cambio climático. Se relaciona con medidas de SBN.

Medida 6. Prevención y control de la degradación del suelo para la adaptación. Esto también podría servir para obras del sector eléctrico.

Medida 7. Implementación de infraestructura y equipamiento productivo intrapredial para la adaptación al cambio climático. Esto también podría servir para obras del sector eléctrico.

Medida 8. Extensión y optimización de los sistemas de información de riesgos agrometeorológicos. Los sistemas de riesgos meteorológicos también podrían servir para obras del sector eléctrico.



Medida 9. Incorporar acciones adaptativas para reducir el riesgo de incendios forestales. Esto también podría servir para obras del sector eléctrico.

Medida 10. Desarrollar sistemas de monitoreo permanente de cambios en los potenciales de productividad.

Medida 11. Implementar un sistema de información que permita el seguimiento, monitoreo y evaluación de variables de sustentabilidad aplicables al sector silvoagropecuario del país.

Medida 12. Plan piloto de adaptación al cambio climático para el sector silvoagropecuario de la Región de Aysén.

C.6.3 Comentarios

Las propuestas y elementos considerados en este Plan de adaptación tienen una aproximación desde la resiliencia, en lo que respecta a buscar aumentar este elemento en los sistemas productivos SAP y su capacidad de adaptación al cambio climático, entre otros aspectos. A partir de ello se pueden rescatar elementos útiles para el sector energía.

Por ejemplo, el fortalecimiento de los sistemas de información, planes de acción y contingencias, que contribuye a mejorar la gestión de los riesgos agrometeorológicos, entre otras acciones, son medidas muy replicables en el sector energía.

De la misma forma, muchas de las condiciones habilitantes de este plan son similares a las que se podrían dar en el caso del sector energía y que se observan en varios de los países revisados, como el fortalecimiento de la coordinación entre instituciones y de iniciativas de planificación territorial, entre otras.

También se incluye una serie de medidas aplicadas al sector SAP y que pueden estar relacionadas a la competencia por el agua con sector generación eléctrica, por lo que deben ser analizadas en ese contexto.

Otro elemento muy importante a considerar tiene que ver con incorporación de soluciones basadas en la naturaleza, medidas que también debieran ser parte de las propuestas del sector energía, por lo que podría haber una interesante sinergia entre ambos sectores.

C.7 Plan de Mitigación Adaptación Serv. Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022

Elaborado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), constituye una ampliación del “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático” PANCC correspondiente al mismo periodo. Este plan considera medidas de mediano y largo plazo para reducir los riesgos del cambio climático, a las que se suman a otras medidas ya implementadas en el ámbito de la adaptación como lo son las obras de control y regulación de crecidas, la mantención de cauces, infraestructura vial y borde costero, el registro y monitoreo de

precipitaciones y caudales que permiten anticipar escenarios y adoptar rápidamente acciones de alerta hacia la población.

C.7.1 Objetivos

El Plan tiene como uno de sus objetivos centrales adaptar la infraestructura que ejecuta el Ministerio de Obras Públicas (MOP) a los impactos esperados por el Cambio Climático (CC), a fin de que los Servicios que proveen de infraestructura a la comunidad no se vean afectados o interrumpidos. También destaca lo siguiente: “diversos organismos internacionales recomiendan un enfoque local para el blindaje climático, en lo relativo tanto a enfrentar a los riesgos climáticos presentes y futuros como así también a evitar las inversiones de alto riesgo que puedan desembocar en pérdidas catastróficas (PNUD, 2010).”

El plan se presenta como marco de referencia que sienta las directrices en materia de adaptación y mitigación al cambio climático para la Direcciones que constituyen parte de este Ministerio y que se encuentran relacionadas con la materialización de las obras de infraestructura: Dirección de Vialidad, Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección de Obras Portuarias, Dirección de Aeropuertos, Dirección de Arquitectura, Dirección de Planeamiento y la Coordinación de Concesiones.

C.7.2 Proceso de análisis

En su concepción, el plan considera como antecedentes generales las proyecciones climáticas, que muestran como los principales efectos para Chile los siguientes:

- Alza en la temperatura.
- Disminución en las precipitaciones.
- Aumento en la frecuencia de eventos extremos, tales como sequías e inundaciones fluviales y costeras.

Como efectos sobre la infraestructura se señalan las siguientes amenazas climáticas:

- Cambios en el patrón de precipitaciones y aumento en tasas de precipitaciones.
- Aumento en intensidad en inundaciones fluviales.
- Aumento en intensidad en inundaciones costeras.
- Olas de calor.

Para ello plantea que se debería considerar análisis de sensibilidad en relación con el CC considerando un compromiso entre los costos de obtener la información local necesaria y el valor de inversión de las obras, a través de una metodología de evaluación. Las obras que ejecuta y revisa el MOP y que deberían considerar este análisis son:

- Obras de riego (embalses, bocatomas, canalizaciones).
- Evacuación y drenaje de aguas lluvias.
- Puentes/proyectos viales.
- Infraestructura portuaria costera.
- Infraestructura hidráulica de control aluvional y de manejo de cauces.
- Agua Potable Rural.

Cabe destacar que el proceso de análisis se enfoca en infraestructura que se encuentra en etapa de planificación/estrategia o factibilidad/diseño, sin identificarse infraestructura existente.

C.7.3 Lineamientos y medidas

En la elaboración de lineamientos y medidas considera los siguientes principios:

- **Precautorio:** Considera que, en caso de riesgo de daños graves e irreversibles al medio ambiente o la salud humana, la ausencia de certeza científica absoluta no podrá servir de pretexto para postergar la adopción de medidas efectivas de prevención del deterioro ambiental. Se deberán tomar acciones para prevenir y reducir al mínimo las causas del CC, mitigando sus efectos adversos. Cuando exista amenaza de daño grave o irreversible, no debe utilizarse la falta de total certidumbre científica como razón para posponer tales medidas, teniendo en cuenta que las políticas y medidas para hacer frente al CC requieren una buena relación coste/beneficio (ONU, 1992).
- **Flexibilidad:** Este principio se recoge del Plan de Acción Nacional de CC, en el sentido que “el plan debe tener la capacidad para incorporar nuevas medidas en función de sus evaluaciones y lecciones aprendidas, como también de incorporar nuevos conocimientos científicos y necesidades. En este sentido, las regiones tendrán un rol importante dado que deberán generar sus programas específicos que incorporarán medidas contextualizadas a las realidades territoriales de cada región”. (MMA, 2017).
- **Resiliencia:** Contempla la capacidad de las personas, las comunidades o sistemas que hacen frente a catástrofes o crisis a preservarse de los daños y recuperarse rápidamente. (FAO, 2017).
- **Gradualidad:** En el sentido que el cumplimiento de objetivos del plan debe ser logrado en forma progresiva, a través de las metas proyectadas, considerando la magnitud de las amenazas climáticas, los recursos y medios disponibles.
- **Sustentabilidad:** Entendida como la capacidad que tiene una sociedad para hacer un uso consciente y responsable de sus recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación y sin comprometer el acceso a éstos por parte de las generaciones futuras. Aquí también puede hablarse de equidad intergeneracional en la toma de decisiones, considerando las dimensiones económicas, sociales y ambientales y la conservación del patrimonio natural y cultural (MMA, 2017).

El plan se desarrolla en tres ejes: **Adaptación, Mitigación y Gestión del Conocimiento**. De ellos, el primero y el último tienen mayor relación con resiliencia de infraestructura o servicios de infraestructura que puede afectar directa o indirectamente al sector energético. En particular se destaca el de Gestión del Conocimiento por la necesidad de información detallada de efectos climáticos a nivel local para la evaluación, toma de decisiones y debido conocimiento público.

Las acciones que se plantean consideran como objetivo general la incorporación de la problemática de CC en los servicios de infraestructura que provee el MOP, a fin de adaptarse a los cambios hidrometeorológicos futuros en un marco de resiliencia y sustentabilidad. Para ello propone los objetivos específicos siguientes:

- **Objetivo 1:** Adaptar los servicios de Infraestructura a los impactos proyectados por Cambio Climático, bajo un enfoque de blindaje climático preventivo, diseñando y construyendo infraestructura resiliente.
- **Objetivo 2:** Propender hacia la construcción de las obras de infraestructura MOP baja en carbono.
- **Objetivo 3:** Generar capacidades e institucionalidad en materia de Cambio Climático en el MOP, en las áreas de adaptación y mitigación.

La siguiente tabla muestra las implicancias de fenómenos climáticos extremos y su vinculación con infraestructura del MOP.

Tabla 7.25: Fenómenos climáticos extremos e infraestructura MOP. Plan MA Infraestructura.

FACTORES CLIMÁTICOS	TIPO DE INFRAESTRUCTURA	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
Incrementos de número de días de calor y olas de calor	Obras viales, aeroportuarias, hidráulicas y Agua Potable Rural.	Pavimentos, hormigones y explanadas.	Restricción en la operación de la infraestructura debido a consideraciones de seguridad y eventualmente salud. Disminución cantidad agua embalsada, mayor requerimiento de agua para las personas en marco de menor disponibilidad.
Exceso de agua: aluviones e inundaciones	Obras de drenaje de aguas lluvias, de control aluvional y viales.	Acueductos, piscinas de decantación, muros de contención, parques inundables y canalizaciones de ríos.	Afectación en vidas humanas y material con efectos negativos del servicio de infraestructura que prestan las obras de drenaje y control aluvional. Además, afectación de obras viales (caminos y puentes). Pérdida de conectividad; disminución de acceso a servicios y bienes.
Aumento de la velocidad media del viento (trombas marinas)	Infraestructura portuaria y aeroportuaria.	Caletas pesqueras, borde costero, puertos de conectividad.	Afectación a las actividades productivas (tanto a gran como a menor escala) que se desarrollan en torno al borde costero.
Sequías	Obras de regadío y sistemas de Agua Potable Rural.	Dimensión de embalses y canales de regadío.	Afectación a los sistemas agrícolas en la provisión de agua para regadío. Disminución disponibilidad de agua para abastecer a los APR.
Cambio en la altura de la ola significativa	Obras portuarias y viales.	Socavación de muros verticales, inundación de explanadas, paseos costeros y rampas.	Afectación a las actividades productivas (tanto a gran como a menor escala) que se desarrollan en torno al borde costero. Pérdida de conectividad. Afectación a la calidad de vida. Disminución momentánea de acceso a bienes y servicios.
Combinación de marejadas con tormentas	Obras DOH, colectores de aguas y lluvias.	Desborde de ríos en desembocadura	Debido a la combinación de los fenómenos climáticos asociado a marejadas y tormentas, esto puede provocar desborde de los ríos en las desembocaduras con la potencial afectación de los colectores de aguas lluvias.

Las siguientes tablas sintetizan las líneas de acción y medidas asociadas a adaptación y gestión del conocimiento respectivamente.

Tabla 7.26: Líneas de acción y medidas objetivo1 adaptación del Plan MA Infraestructura.

<p>LÍNEA DE ACCIÓN 1 Cambios metodológicos para incorporar la gestión del riesgo hidrológico futuro en la evaluación, diseño y planificación de servicios de infraestructura.</p>	<p>MEDIDA 1: Incorporación de cambios metodológicos en la evaluación económica de obras de infraestructura con perspectivas de largo plazo. MEDIDA 2: Incorporación de cambios metodológicos en las etapas de desarrollo de obras de infraestructura asociadas a la provisión de recursos hídricos: Embalses de Regadío. MEDIDA 3: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de desarrollo de obras de infraestructura en zonas costeras. MEDIDA 4: Incorporación de cambios metodológicos en la etapa de diseño de obras de infraestructura asociadas a conectividad y de protección del territorio que se pueden ver afectadas por eventos extremos de origen hidrometeorológico. MEDIDA 5: Generar programas de protección del territorio frente a lluvias intensas.</p>
<p>LÍNEA DE ACCIÓN 2 Monitoreo de amenazas.</p>	<p>MEDIDA 6: Mejoras en monitoreo en disponibilidad de recursos hídricos: Ampliar la densidad de estaciones en glaciares, cuenca y sub -cuencas de zonas con cobertura de nieve. MEDIDA 7: Mejoras en monitoreo de caudales extremos. MEDIDA 8: Mejoras en monitoreo de amenazas costeras.</p>
<p>LÍNEA DE ACCIÓN 3 Monitoreo de vulnerabilidad de la infraestructura.</p>	<p>MEDIDA 9: Revisión periódica de obras fluviales, de drenaje y viales. MEDIDA 10: Incorporación de monitoreo semi-continuo del impacto de obras de infraestructura costera.</p>
<p>LÍNEA DE ACCIÓN 4 Incorporación en los procesos de planificación ministerial de las implicancias del Cambio Climático para los servicios de infraestructura del Ministerio de Obras Públicas.</p>	<p>MEDIDA 11: Incorporar en todas las escalas de planificación ministerial los efectos de Cambio Climático.</p>

Tabla 7.27: Líneas de acción y medidas objetivo1 adaptación del Plan MA Infraestructura.

<p>LINEA DE ACCIÓN 7 Coordinación Intra e Interministerial del Cambio Climático.</p>	<p>MEDIDA 17: Coordinación interministerial. MEDIDA 18: Coordinación con Plan Nacional de Adaptación, Plan de Acción Nacional y Planes Sectoriales de Adaptación.</p>
<p>LINEA DE ACCIÓN 8 Gestión del Conocimiento en Cambio Climático.</p>	<p>MEDIDA 19: Creación de la Unidad de Cambio Climático. MEDIDA 20: Generación de capacidades en Cambio Climático. MEDIDA 21: Gestión del Cambio Climático en el territorio. MEDIDA 22: Cambio en normas y estándares</p>
<p>LINEA DE ACCIÓN 9 Promoción de la innovación tecnológica para la adaptación al Cambio Climático.</p>	<p>MEDIDA 23: Incorporación de innovación tecnológica en adaptación y mitigación al Cambio Climático.</p>

Anexo D Entrevistas a actores del sector

Se expone el desarrollo de entrevistas a actores incumbentes en la temática bajo análisis. Con ello se espera disponer de los mejores antecedentes y la opinión de los distintos sectores respecto de cómo se ha ido desarrollando la implementación de adaptación y resiliencias, su estado de avance y las dificultades que se han ido encontrando.

La lista de personas entrevistadas, elaborada en conjunto con la contraparte, representando adecuadamente todos los sectores de interés, se mantiene confidencial.

La lista está compuesta por 15 instituciones y 17 cargos: Ministerio de Energía y Superintendencia de Electricidad y Combustibles tienen dos cargos asociados cada uno.

Los perfiles seleccionados corresponden a los cargos directivos, con experiencia en el sector energético y/o de infraestructura crítica, cuya institución u organismo se relacione o tenga

Las entrevistas son semiestructuradas, y el diseño se basa en análisis preliminares para identificar los desafíos en consideración, ya sea en términos generales, como en términos específicos desde la perspectiva de cada uno de los actores y su ámbito de acción.

En línea con el carácter confidencial de la entrevista, no se realizan grabaciones y solo se toman notas escritas por el equipo del Centro de Energía. Las notas son agrupadas y procesadas luego de cada reunión, manteniendo un formato acorde a la estructura de las entrevistas.

Para lograr lo anterior, la entrevista es guiada por 4 diapositivas, ilustradas en la Figura 7.4:

1. Se introduce el nombre del estudio y el contexto en el que se enmarca la entrevista, mencionado su confidencialidad y libertad en las respuestas.
2. Se mencionan algunos de los eventos extremos y tendencias climáticas, junto a los impactos que estos pueden tener en términos de operación y suministro energético,

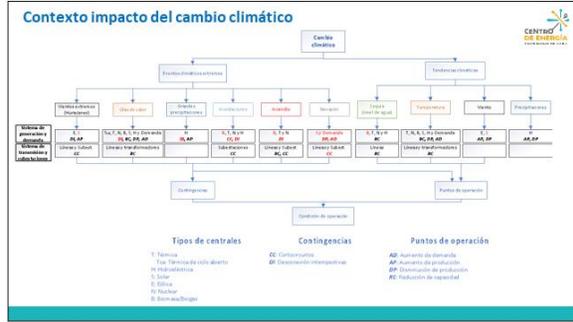
destacando que no solo aplica al sistema eléctrico, sino que también a sectores productivos, disponibilidad del recurso hídrico y conectividad vial.

3. Se entregan algunas definiciones relacionadas a resiliencia, mencionando el bajo consenso que hay en su definición y alcance entre distintas instituciones.
4. Por último, se presenta el objetivo principal de la entrevista, y 4 preguntas que fomentan la conversación libre.

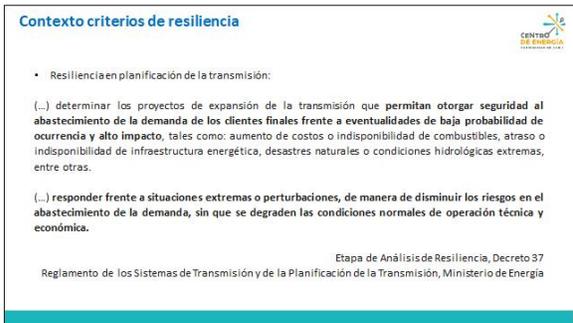


Diagnóstico y Análisis de Infraestructura Resiliente a la Crisis Climática para el Sector Energético

Centro de Energía, DIE, Universidad de Chile



Contexto impacto del cambio climático



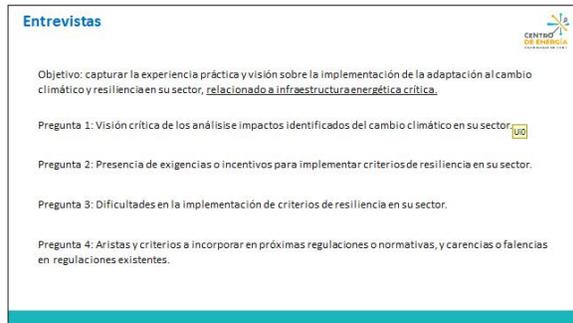
Contexto criterios de resiliencia

- Resiliencia en planificación de la transmisión:

(...) determinar los proyectos de expansión de la transmisión que permitan otorgar seguridad al abastecimiento de la demanda de los clientes finales frente a eventualidades de baja probabilidad de ocurrencia y alto impacto, tales como: aumento de costos o indisponibilidad de combustibles, atraso o indisponibilidad de infraestructura energética, desastres naturales o condiciones hidrológicas extremas, entre otras.

(...) responder frente a situaciones extremas o perturbaciones, de manera de disminuir los riesgos en el abastecimiento de la demanda, sin que se degraden las condiciones normales de operación técnica y económica.

Etapas de Análisis de Resiliencia, Decreto 37
Reglamento de los Sistemas de Transmisión y de la Planificación de la Transmisión, Ministerio de Energía



Entrevistas

Objetivo: capturar la experiencia práctica y visión sobre la implementación de la adaptación al cambio climático y resiliencia en su sector, **relacionado a infraestructura energética crítica**.

Pregunta 1: Visión crítica de los análisis e impactos identificados del cambio climático en su sector. ^{UC}

Pregunta 2: Presencia de exigencias o incentivos para implementar criterios de resiliencia en su sector.

Pregunta 3: Dificultades en la implementación de criterios de resiliencia en su sector.

Pregunta 4: Aristas y criterios a incorporar en próximas regulaciones o normativas, y carencias o falencias en regulaciones existentes.

Figura 7.4: Diapositivas propuestas para el desarrollo de entrevistas.

El objetivo es “capturar la experiencia práctica y visión sobre la implementación de la adaptación al cambio climático y resiliencia en su sector, relacionado a infraestructura energética crítica”, y las preguntas son:

- Pregunta 1: Visión crítica de los análisis e impactos identificados del cambio climático en su sector.
- Pregunta 2: Presencia de exigencias o incentivos para implementar criterios de resiliencia en su sector.
- Pregunta 3: Dificultades en la implementación de criterios de resiliencia en su sector.
- Pregunta 4: Aristas y criterios a incorporar en próximas regulaciones o normativas, y carencias o falencias en regulaciones existentes.



Cabe destacar que, si bien la conversación es libre y solo guiada por preguntas temáticas, se presta especial atención a identificar información como normativas específicas, proyectos piloto, guías, experiencias internacionales, relación público-privada, y planes o acciones.

Anexo E Reglamentos de la LMCC

En el siguiente cuadro se resume el listado de los reglamentos y/o modificaciones reglamentarias de la implementación de la Ley Marco de Cambio Climático.

Tabla 7.28: Reglamentos mandatados por la LMCC.

Artículo 5	Reglamento que regula el procedimiento para modificar la Estrategia Climática a Largo Plazo Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 15	Reglamento que establece criterios, requisitos y procedimientos de los Certificados de Reducción o Absorción de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 28	Reglamento que fija normas de funcionamiento del Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio del Medio Ambiente Reglamento que fija las normas de elaboración de los Inventarios Regionales de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta. Ministerio del Medio Ambiente
Artículo 7	Reglamento que regula el procedimiento para elaborar y actualizar la Contribución Determinada a Nivel Nacional, y actualizar la Estrategia Climática de Largo Plazo. Ministerio del Medio Ambiente		Reglamento que establece las condiciones y requisitos que deben tener los Certificados de Reducción o Absorción de emisiones conforme objetivos del Acuerdo de París. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 29	Reglamento que fija las normas de funcionamiento del Sistema Nacional de Prospectiva de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, suscrito además por el/la ministro/a del Medio Ambiente
Artículo 8	Reglamento que regula el procedimiento de elaboración, revisión y actualización de los Planes Sectoriales de Mitigación. Ministerio del Medio Ambiente		Reglamento que establece los procedimientos de verificación, los requisitos mínimos e inhabilidades para la inscripción de un auditor en el Registro para la Verificación de Reducción o Absorción de GEI en proyectos aprobados. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 30	Reglamento que regula el Sistema de Certificación Voluntaria de Gases de Efecto Invernadero y uso del agua. Ministerio del Medio Ambiente
Artículo 9	Reglamento que regula el procedimiento de elaboración, revisión y actualización de los		Reglamento que establece los requisitos, formalidades y características del Registro de	Artículo 34	Modificación de la Norma General de Participación Ciudadana MMA. Ministerio del Medio Ambiente



	Planes Sectoriales de Adaptación. Ministerio del Medio Ambiente		Proyectos de Reducción o Absorción de Emisiones. Ministerio del Medio Ambiente		
Artículo 11	Reglamento que regula el procedimiento de elaboración, revisión y actualización de los Planes de Acción Regional de Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 19	Reglamento que fija el funcionamiento interno y las normas para la conformación del Comité Científico Asesor para el Cambio Climático. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, suscrito, además, por el/la ministro/a del Medio Ambiente	Artículo 40	Modificación del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente
Artículo 13	Reglamento que regula el procedimiento de elaboración, revisión y actualización de los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas, su monitoreo y reporte. Ministerio de Obras Públicas	Artículo 23	Reglamento sobre conformación y funcionamiento del Equipo Técnico Interministerial de Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 41	Modificación del Reglamento del Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes. Ministerio del Medio Ambiente
Artículo 14	Reglamento que establece el procedimiento de elaboración, revisión y actualización - además de su contenido- de las Normas de Emisión de Gases de Efecto Invernadero y Forzantes Climáticos de Vida Corta. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 24	Reglamento sobre conformación y funcionamiento de los Comités Regionales de Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente Modificación del Reglamento que regula el funcionamiento del Consejo Consultivo Nacional y los Consejos Consultivos Regionales de Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente	Artículo 43	Modificación del Reglamento del Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes. Ministerio del Medio Ambiente Modificación del Reglamento de la Evaluación Ambiental Estratégica. Ministerio del Medio Ambiente

Anexo F Complemento de revisión de casos internacionales

F.1 Síntesis de revisión de documentos sobre casos pilotos

Resumen de información revisada de casos piloto y otros estudios seleccionados por la contraparte del proyecto y por el consultor.

Nombre asociado	Seleccionada?	Observaciones
Países bajos: barreras marejadas ciclónica	No	Puertos tipo canal, protección contra inundaciones (marejada ciclónica corresponde al aumento del nivel del mar producto de tormentas o huracanes).
Canal de Suez: reporte aumento del nivel del mar	No	Puertos a nivel del mar y del tipo canal (no comparable con Chile). Se revisan efectos de aumento del nivel del mar y de temperatura (solo adaptación).
Puerto de San Diego: resiliencia	No	Proyectos como elevación de estructuras, líneas de costa con arrecifes de ostras y tratamiento de aguas pluviales. Menciona el proceso de gestión adaptativa, instituciones y procesos de adaptación, fundamental en siguiente referencia.
Puerto de San Diego: informe aumento del nivel del mar y vulnerabilidad costera	Sí	Metodología para las proyecciones y alcances del aumento del nivel del mar. Se utiliza propuesta del marco o proceso de gestión adaptativa como piloto, ya que también considera estrategias relacionadas a la resiliencia (barreras, líneas costeras, política de ubicación de nuevas estructuras), junto a proyecto de humedales en construcción en el mismo puerto.
RestCoast	No	Revisando pilotos y misión de manejo de costa ante aumento del nivel del mar, proyecto tiene enfoque en biodiversidad: recuperación y manejo de hábitats
Manglares en desarrollo portuario de Indonesia	No	Costas de baja pendiente – desarrollo portuario del tipo botes, no asociado a infraestructura energética (buques) con las características de puertos en Chile.
Invertir en SbN – financiamiento público y privado en Europa	Revisar	Posible uso en financiamiento de pilotos para la resiliencia.
Hacia una ley de costas en Chile 2022	Sí	Información del impacto climático en los puertos a nivel operacional y económico producto del “mal tiempo” o marejadas.
Marco de evaluación de resiliencia en	No	Resiliencia en la producción de h2, no cubre resiliencia frente a cambio climático. Interesante presentación de indicadores de resiliencia en



Nombre asociado	Seleccionada?	Observaciones
infraestructura de energía de H2		aspectos técnicos, sociales, económicos y organizacionales.
Resiliencia energética comunitaria	Revisar	Sin acceso al documento. Interesante de abordar considerando resiliencia energética frente a desastres (terremoto Nepal) y comunidades vulnerables.
Generación solar, resiliencia comunitaria y pandemia	No	Resiliencia operacional, considerando la generación solar como opción de mitigar el aumento de demanda eléctrica en contexto de trabajo remoto en pandemia.
Generación distribuida y resiliencia en edificios públicos	No	Resiliencia operacional, abastecimiento de consumos energéticos mínimos con generación distribuida durante cortes de suministro.
Página D. Energía EE.UU: resiliencia y el sector público	Revisar	Distintos tópicos de resiliencia, requiere mayor revisión de pilotos para identificar resiliencia en infraestructura energética.
SBN en la estrategia de adaptación climática de la UE (2021)	No	las SBN representan soluciones polivalentes y "sin arrepentimiento", con beneficios medioambientales, sociales y económicos, y contribuyen a aumentar la resiliencia climática. Pueden desempeñar un papel esencial en la gestión del uso del suelo y la planificación de infraestructuras para reducir costos, proporcionar servicios resistentes al clima, entre otros.
Selected infrastructure projects integrating climate-resilience in oecd and g20 countries	No	Se elabora estrategia para hacer frente a los efectos del clima en Península de Eyre (Australia); Ferrocarriles Japoneses (JR) (Japón); Ciudad Esponja (Hong Kong, China); Estrategia de reconstrucción tras el huracán Sandy (EE.UU.).
Powering Up Britain	No	Se analiza la resiliencia del sistema y de adaptación y no a la resiliencia de la infraestructura.
Tesis: Designing port infrastructure for sea level change: a survey of u.s. engineers	No	Se relacionan con aumento del nivel del mar y no con las marejadas, que es el problema principal en Chile.
Compuertas de tormentas y barreras contra inundaciones	No	Las compuertas antitormentas y las barreras contra inundaciones son instalaciones fijas que permiten el paso del agua en condiciones normales y disponen de compuertas que pueden cerrarse contra las mareas tormentosas o la pleamar para evitar inundaciones. Pueden cerrar la desembocadura de un río, la desembocadura de una vía navegable o una entrada de marea, lo que no es aplicable en Chile.



Nombre asociado	Seleccionada?	Observaciones
Red de monitoreo de la zona costera y sistema de alerta	Si	Proyecto de diseño y desarrollo de una red de monitoreo de la zona costera, dotada de un sistema de alerta temprana.
Sistema integrado de observación del océano (SIOOC)	Si	Componente de observación que posea instrumental automatizado in situ, con un análisis de su priorización, que incluya boyas oceanográficas, boyas de oleaje profundo y costero, radares de medición de corrientes marinas, estaciones meteorológicas costeras, etc.

Otras iniciativas desarrolladas y que no fueron seleccionadas se describen a continuación.

F.2 Manejo de riesgo de aluviones en centrales hidroeléctrica (segmento generación)

La empresa EDF en Francia ha introducido mejorar en el diseño de centrales hidroeléctricas para el manejo de descarga de caudales y aluviones en periodos de precipitaciones extremas. La tecnología PKW (Piano Key Weir) ("Climate Resilience Case Study: Piano Key Weirs," n.d.) implementada por EDF hace referencia a su diseño innovador, con tanques de descarga rectangulares distintivos que se asemejan a las teclas de un piano. Su forma proporciona una mayor superficie para el flujo de agua, aumentando drásticamente la capacidad de descarga de los aliviaderos. Esta tecnología permite proteger la central contra daños y al mismo tiempo se reducen los costos de operación en comparación con los sistemas de puertas alternativos. PKW puede manejar niveles de flujo mucho más altos y proporcionar una solución más segura y facilitar la evacuación de escombros flotantes. De acuerdo con lo establecido por (Adaptation Options for Hydropower Plants — English, n.d.) esta tecnología se podría aplicar en centrales de embalses ya existentes.



Figura 7.5: Tecnología PKW. Fuente: ("Climate Resilience Case Study: Piano Key Weirs," n.d.)

F.3 Estrategia de adaptación a la gestión de inundaciones en el Puerto de Rotterdam (Programa Delta Rijnmond-Drechtsteden)

La Autoridad Portuaria pretende contrarrestar los efectos del cambio climático y garantizar al mismo tiempo que la zona portuaria siga contribuyendo de forma significativa a la prosperidad y el empleo en los Países Bajos.

La zona situada fuera del sistema de defensa contra inundaciones es la mayor de este tipo en el país. En las zonas situadas fuera del sistema de defensa contra inundaciones, los propios residentes, empresas y usuarios son responsables de introducir medidas para limitar los efectos causados por cualquier inundación. Durante los próximos meses, la Autoridad Portuaria se pondrá en contacto con la comunidad empresarial afectada para facilitarle información y establecer acuerdos sobre medidas destinadas a seguir siendo un puerto resistente a las inundaciones en el futuro.

En la actualidad, las zonas portuarias están a salvo de la subida del nivel del mar. Se construyeron entre tres y seis metros por encima del nivel del mar y están parcialmente protegidas por barreras contra mareas de tempestad. Para seguir siendo un puerto resistente a las inundaciones y mantener un clima empresarial saludable, ahora y a largo plazo, la Autoridad Portuaria ha puesto en marcha el programa "estrategia de adaptación a la gestión de inundaciones". La Autoridad Portuaria trabaja en ello en colaboración con el Ayuntamiento de Rotterdam, otras organizaciones gubernamentales, empresas (de servicios públicos) y Deltalinqs. Uno de los objetivos es sensibilizar a las empresas sobre los riesgos potenciales que entraña el cambio climático. Los informes describen los cambios y medidas (estrategia de adaptación) que se introducirán en diversas zonas portuarias -como Europoort y Botlek- con el fin de prevenir o limitar las consecuencias de una inundación y garantizar la protección continua de la zona en el futuro. La estrategia integrada para toda la zona portuaria e industrial se completará a finales de este año.



En las próximas décadas, los efectos del cambio climático, y en particular la subida del nivel del mar, supondrán un aumento del riesgo de inundaciones en el puerto de Rotterdam y sus alrededores. Los escenarios actuales de cambio climático predicen una subida del nivel del mar de entre 35 y 110 cm desde 1990 hasta después de 2100. La gran importancia económica y la presencia de funciones vitales y vulnerables en partes de la zona portuaria hacen deseable una respuesta oportuna a las consecuencias de este hecho.

Permitirá al puerto anticiparse a la subida del nivel del mar e incorporarla a su desarrollo futuro. En consecuencia, el puerto podrá realizar inversiones responsables para mantener su condición de resistente a las inundaciones.

F.4 AIE, stock de seguridad de 90 días de petróleo y acciones colectivas

Un stock de seguridad de 90 días es exigido para los países miembros de la Agencia Internacional de Energía (segmento almacenamiento combustible).

Los países de la AIE tienen la obligación de mantener reservas de petróleo⁵³ (o combustible equivalente) de al menos 90 días de importaciones netas y estar preparado para responder colectivamente ante graves interrupciones del suministro que afectan al mercado mundial del petróleo.

El sistema se centra en aliviar las interrupciones del suministro de petróleo a corto plazo, ya sea aumentando la oferta (por ejemplo, liberando reservas de emergencia) y/o reduciendo la demanda (por ejemplo, aplicando medidas de contención de la demanda). Otras medidas para mitigar los efectos de una interrupción del suministro de petróleo son:

- Contención de la demanda: desde campañas de información pública hasta restricciones a la circulación o racionamiento de combustible.
- Cambio de combustible, por ejemplo, utilizando gas natural como alternativa al petróleo en caso de interrupción, sobre todo en el sector eléctrico: centrales que pueden operar con ambos combustibles.
- Sobreproducción: mediante activación de la capacidad excedentaria de producción de crudo para aumentar el suministro de petróleo.
- Flexibilidad temporal de las normas medioambientales.

En caso de interrupción real o potencialmente grave del suministro de petróleo, la Secretaría de la AIE evalúa en primer lugar el impacto potencial de dicha interrupción en el mercado y la necesidad de una respuesta coordinada. Si se determina que la perturbación es lo suficientemente grande como para que los mercados mundiales de la energía se vean afectados de forma significativa, podría recomendarse una acción colectiva de la AIE.

Desde la creación de la AIE, una acción colectiva se ha debido a eventos climáticos extremos (huracanes Katrina y Rita que dañaron plataformas petrolíferas, oleoductos y refinerías de

⁵³ <https://www.iea.org/reports/oil-security-policy>

petróleo en el Golfo de México en 2005), y 4 producto de guerras (Guerra del Golfo en 1991, Guerra civil Libia en 2011, y dos durante la crisis en Ucrania en marzo y abril de 2022).

Cabe destacar que Chile tiene una alta dependencia a la importación de combustibles fósiles, por lo que eventos climáticos extremos en otros países exportadores (ver figura a continuación con la relación de importación por origen), o a nivel de puertos nacionales, pueden tener un impacto de desabastecimiento en el corto y mediano plazo si no existe una estrategia de respuesta como la mencionada anteriormente.

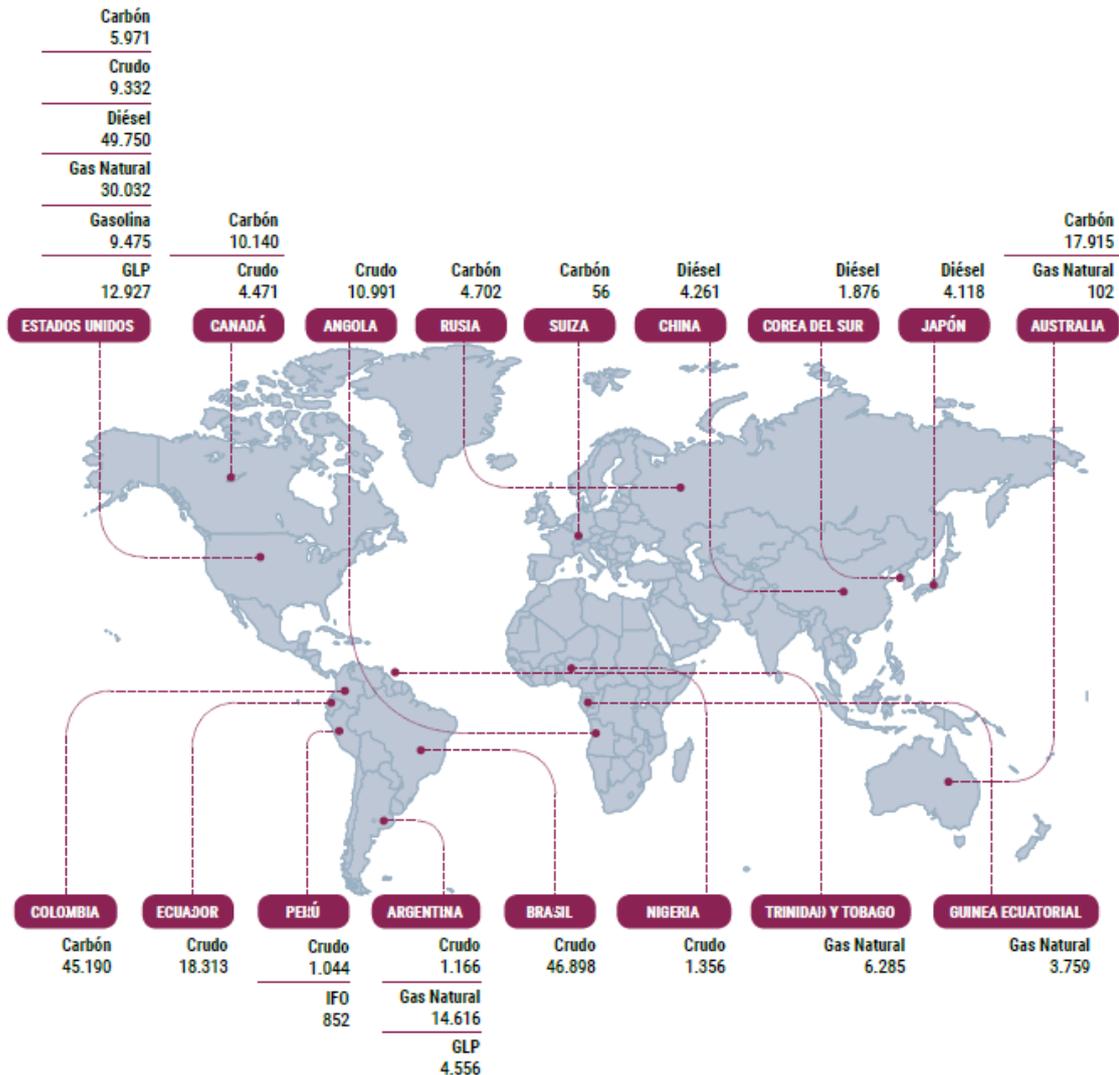


Figura 7.6: Detalle de las importaciones realizadas por país de origen en TCal. Fuente: Anuario Estadístico de Energía 2021, CNE.

Anexo G SEC y Gestión de activos

A continuación, se describen los principales documentos técnicos asociados a la adaptación del cambio climático, desde la arista de definir una guía o lineamientos asociados a esta temática.



Superintendencia de Electricidad y Combustibles

Anexo Técnico del Pliego Normativo RPTD N° 17/2023

Este documento tiene el objetivo de definir indicadores que contribuyan a mejorar condiciones de seguridad, continuidad, calidad del suministro eléctrico, así como la integridad de sus instalaciones. Si bien no se hace referencia a la adaptación y la resiliencia del sector, indirectamente aborda la seguridad de las instalaciones. Aquí se destacan algunos indicadores relacionados indirectamente con resiliencia del sector energético.

Del documento se puede destacar el indicador denominado **Tasa de Investigación de Causas Basales de activos críticos (TICB)** resultante del porcentaje de informes de investigación con causa basal con respecto a la cantidad de afectaciones de activos críticos. Las definiciones dadas son las siguientes:

- Cantidad de informes de investigación con análisis de causa basal: Cuando resulte afectado un activo crítico, se debe realizar el correspondiente informe de investigación, análisis y evaluación de soluciones viables o análisis de causa raíz, el cual formará parte de la información documentada del Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas, en adelante e indistintamente "SGIIE".
- Cantidad de afectaciones de activos críticos: Se considerarán las averías, mantenimientos correctivos con o sin interrupción de servicio u operación, las desconexiones no programadas y las desconexiones por curso forzoso que afecten a un activo crítico.

Del anexo también se puede hacer mención del indicador asociado con los mantenimientos preventivos y correctivos denominado **Relación entre Mantenimiento Preventivo y Correctivo (RMPC)** correspondiente a la relación entre HH dedicadas al mantenimiento preventivo versus las HH dedicadas al mantenimiento correctivo.

Otro indicador corresponde a la **Cantidad de Incidentes de Activos Críticos (CIAC)** que indica la cantidad de incidentes que afecten un activo crítico y que pueden provocar la interrupción de la continuidad de suministro de las instalaciones.

Pliego Técnico Normativo RPTD N°17/2020

El objetivo del pliego es establecer los requisitos del **Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas** para maximizar condiciones de seguridad, continuidad y calidad de suministro eléctrico de las instalaciones por medio de la prevención de la ocurrencia de accidentes e incidentes y en caso de que ocurran, minimizar sus consecuencias.

En relación con los alcances, este pliego técnico aplica a las instalaciones de producción, transformación, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica. Excluye las instalaciones de consumo de clientes regulados y no regulados, PMGD conectados a redes de distribución y sistemas de generación residenciales.

En este pliego se busca establecer exigencias para la seguridad de las personas, equipos e instalaciones considerando el diseño, construcción, puesta en servicio, operación y mantenimiento de toda la infraestructura destinada a la producción, transformación, transporte y distribución de energía eléctrica. El pliego establece que las instalaciones eléctricas deben implementar el **estándar NCh-ISO 55.001 (Sistema de Gestión de Activos)**, lo que constituye un paso importante en el



avance de la integridad en seguridad de las instalaciones eléctricas, sin embargo, según expertos el grado de implementación ha sido lenta y se observa falta de competencias en la gestión de activos.⁵⁴

Entre sus disposiciones destacan

“5.1 Los propietarios u operadores de las instalaciones de producción, transformación, transporte, prestación de servicios complementarios, sistemas de almacenamiento y distribución de energía eléctrica, en adelante las instalaciones, deberán contar con un Sistema de Gestión de Integridad de Instalaciones Eléctricas, en adelante e indistintamente "SGIIE", para gestionar las etapas del ciclo de vida de las instalaciones.”

“5.3 El SGIIE deberá ser diseñado, implementado y operado en conformidad con las normas NCh-ISO 55000, NCh-ISO 55001 y NCh-ISO 55002.”

“5.15 El SGIIE deberá disponer de procesos para dar soporte a la gestión de no conformidades, investigación de eventos, accidentes e incidentes y mantener registros actualizados del seguimiento y corrección de éstas”.

“5.17 Las Empresas deberán realizar una auditoría externa al SGIIE cada tres años para determinar el nivel de cumplimiento de los requisitos y el nivel de madurez de la organización respecto de los requisitos de la norma NCh-ISO 55001. Esta auditoría es independiente de las autoevaluaciones anuales o de otras auditorías que realice la empresa por iniciativa propia.”

“5.22 Los responsables de las instalaciones deberán investigar y analizar los accidentes, incidentes y eventos que afecten el logro de los objetivos o que reduzcan la capacidad del SGIIE para alcanzar dichos objetivos. La investigación, análisis y evaluación de soluciones viables deberán ser realizadas mediante alguna metodología enfocada a eliminar o mitigar las causas basales o adoptar acciones tendientes a evitar la reiteración y/o mitigar las consecuencias de éstos.”

“5.23 Los responsables de las instalaciones deberán realizar la planificación de la contingencia y disponer de planes que establezcan cómo se responderá ante eventos potenciales que afecten la infraestructura crítica, instalaciones y/o equipos críticos y/o principales. Estos planes deben contener al menos la identificación de escenarios potenciales, evaluación y tratamiento de los riesgos, acciones apropiadas para responder eficazmente ante la emergencia, medidas de mitigación preventivas y correctivas, competencias del personal, responsabilidades, comunicación interna y externa y los recursos necesarios para retornar a la situación de normalidad.”

Como se describe en la disposición 5.23 las empresas deben desarrollar planes de contingencia ante eventuales riesgos a la infraestructura y realizar medidas de mitigación preventiva y correctiva para retornar a situación de normalidad. Este último punto indirectamente aborda la preparación ante eventuales riesgos climáticos que pudieran afectar la integridad de la infraestructura.

54

<https://www.revistaeci.cl/2023/01/04/sgiiie-avanzando-en-integridad-para-las-instalaciones-electricas/>

