

Costos asociados a la inacción frente al cambio climático en Chile

Síntesis

Óscar Melo
Joseluis Samaniego
Jimmy Ferrer Carbonell
Maritza Jadrijevic
Sandra Briceño
Coordinadores



NACIONES UNIDAS

CEPAL



Trabajando por un futuro productivo, inclusivo y sostenible



Ministerio del Medio Ambiente

Gobierno de Chile



Financiado por la Unión Europea

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



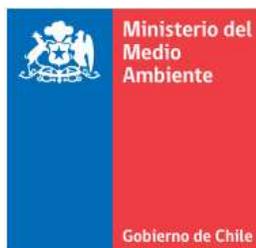
www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Costos asociados a la inacción frente al cambio climático en Chile

Síntesis

Óscar Melo
Joseluis Samaniego
Jimmy Ferrer Carbonell
Maritza Jadrijevic
Sandra Briceño

Coordinadores



Este documento fue elaborado bajo la coordinación de Óscar Melo, de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Joseluis Samaniego y Jimy Ferrer Carbonell, de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y Maritza Jadrijevic y Sandra Briceño, del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, en el marco de las actividades del Programa EUROCLIMA+, con financiamiento de la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las Naciones Unidas o las de los países que representa.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2023/45
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2023
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.23-00039

Esta publicación debe citarse como: Ó. Melo y otros (coords.), "Costos asociados a la inacción frente al cambio climático en Chile: síntesis", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2023/45), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Reconocimientos

Reconocemos los aportes para la preparación de este documento síntesis de Óscar Melo y María Isabel Sactic, consultores de la Unidad de Economía del Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL. Este documento se preparó a partir de los resultados de los estudios sectoriales de los costos asociados a la inacción frente al cambio climático en Chile, realizados por los consultores e investigadores a cargo de los mismos. Agricultura: Roberto Ponce, Francisco Fernández, Esteban Arias, Felipe Vásquez y Stefan Gelcich. Agua potable en zonas urbanas: Felipe Vásquez, Roberto Ponce, Francisco Fernández y Stefan Gelcich. Biodiversidad y el turismo de áreas protegidas: Rodrigo Arriagada, Francisco España y Patricio Pliscoff. Energía: Enzo Sauma, Álvaro Lorca, Tomás Tapia y Andrés Pereira. Minería: Gustavo Lagos y David Peters. Pesca y acuicultura: Stefan Gelcich, Roberto Ponce, Felipe Vásquez, José Palma-Duque, Francisco Fernández, Mauricio Leiva, Manuel Contreras-López y Patricio Winckler. Puertos y playas: Patricio Winckler, Roberto Agredano, Javiera Mora, César Esparza, Oscar Melo y María Isabel Sactic. Salud: Camila Cabrera, Daniela Quiroga y José Miguel Valdés.

Durante la preparación de este documento síntesis también se recibieron contribuciones del equipo del Ministerio del Medio Ambiente de Chile: Carolina Urmeneta, Jefa de la oficina de Cambio Climático, Maritza Jadrijevic, Coordinadora del área de adaptación al cambio climático, Sandra Briceño, Profesional del área de mitigación de la oficina de Cambio Climático, Alfonso Galarce, Coordinador de financiamiento climático, Rodrigo Céspedes, Asesor de la oficina de cambio climático y Emiko Sepúlveda, Profesional en adaptación. Así mismo contribuyeron en su elaboración el equipo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Joseluis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos y Jimmy Ferrer Carbonell, Oficial de asuntos económicos. Durante su elaboración se recibieron aportes y comentarios del panel Asesor Nacional: Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Energía, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Salud, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Índice

Prólogo	9
Introducción	13
A. Impactos económicos del cambio climático a nivel internacional	14
B. Impactos económicos del cambio climático en Chile	15
C. Modelos para la estimación económica de efectos del cambio climático	15
I. Metodología general	17
A. Metodología general del estudio	17
B. Escenarios climáticos utilizados	19
C. Enfoques de valoración	21
D. Proyecciones socioeconómicas	22
II. Síntesis de estudios	25
A. Agricultura	26
B. Agua potable en zonas urbanas	29
C. Biodiversidad y turismo de áreas protegidas	33
D. Energía.....	35
E. Minería.....	37
F. Pesca y acuicultura	40
1. La pesca artesanal y los impactos asociados a cambios en las posibilidades de acceso a recursos	41
2. La acuicultura de mitílidos y los impactos asociados a atributos de mercado del recurso.....	44
3. La pesca industrial del jurel y los impactos asociados a cambios de comportamiento de agentes económicos	45
4. La acuicultura de salmones e impactos basados en la pérdida de productividad	46
G. Puertos y playas	47
H. Salud.....	52
III. Síntesis de resultados	55

IV. Mejoras metodológicas	59
A. Mejoras metodológicas por sector	60
1. Agricultura.....	60
2. Agua potable	60
3. Biodiversidad y turismo en áreas protegidas.....	60
4. Energía	61
5. Minería	61
6. Pesca y acuicultura	61
7. Puertos y playas.....	62
8. Salud	62
V. Comparación con estudio de la Economía del Cambio Climático en Chile	63
VI. Conclusiones	67
Bibliografía	69
Cuadros	
Cuadro 1	Variables analizadas y fuentes de información para el análisis del costo económico de la inacción a mediados de siglo
	21
Cuadro 2	Variables analizadas y fuentes de información para el análisis del costo económico de la inacción a fin de siglo
	21
Cuadro 3	Variables socioeconómicas modeladas y periodo de cálculo para el análisis del costo de inacción frente al cambio climático
	23
Cuadro 4	Costos de la inacción frente al cambio climático en el sector agrícola
	29
Cuadro 5	Cambios en la oferta y demanda y costos asociados a la inacción frente al cambio climático.....
	33
Cuadro 6	Cambio en la superficie de los ecosistemas, valor por hectárea y valor total
	35
Cuadro 7	Costo de la inacción frente al cambio climático para el sector de generación de energía eléctrica y comparación con el PIB sectorial
	37
Cuadro 8	Costos de la inacción frente al cambio climático en minería.....
	40
Cuadro 9	Costos asociados a la inacción frente al cambio climático y porcentaje que representan del PIB sectorial
	47
Cuadro 10	Costos y beneficios asociados a la inacción frente al cambio climático y porcentaje del PIB sectorial que representan
	50
Cuadro 11	Variaciones netas y costos asociados a mortalidad y egresos hospitalarios para mediados y fin de siglo
	54
Cuadro 12	Costos y beneficios de la inacción frente al cambio climático al año 2050
	57
Cuadro 13	Costos y beneficios de la inacción frente al cambio climático al año 2100
	57
Gráficos	
Gráfico 1	Principales 10 cambios en superficies de cultivos a nivel nacional y por zona debido al escenario de cambio climático.....
	27
Gráfico 2	Variación porcentual mano de obra ante escenario de cambio climático en comparación a escenario base
	28
Gráfico 3	Temperatura actual y futura por zonas geográficas
	31
Gráfico 4	Precipitaciones actuales y futuras por zonas geográficas.....
	31
Gráfico 5	Producción máxima potencial y lograda de cobre chileno en los escenarios 1 y 2.....
	39
Gráfico 6	Producción máxima potencial y lograda de cobre chileno en el escenario 3
	39

Gráfico 7	Valorización de la pérdida producto del cambio del downtime en las distintas latitudes para mitad de siglo (2026-2045) en los distintos escenarios de horas efectivas para los recursos bentónicos, peces de rocas, jibias y peces (arriba), y para las algas (abajo)	42
Gráfico 8	Valorización de la pérdida producto del cambio del downtime en las distintas latitudes para final de siglo (2081-2100) en los distintos escenarios de horas efectivas para los recursos bentónicos, peces de rocas, jibias y peces (arriba), y para las algas (abajo)	43
Diagrama		
Diagrama 1	Esquema metodológico general para la estimación de los costos de la inacción frente al cambio climático.....	17
Mapas		
Mapa 1	Caudal de agua en Chile: escenario histórico, futuro y variaciones del caudal	30
Mapa 2	Distribución espacial de las formaciones vegetacionales utilizadas como ecosistemas para la modelación de los impactos del cambio climático.....	34
Mapa 3	Campos de altura significativa (99%) para el período histórico, la proyección y la diferencia.....	48
Mapa 4	Cambios en el downtime operacional entre el período histórico (1985-2004) y a) la proyección a medio siglo (2026-2045) y b) fines de siglo (2081-2100) para umbrales de operación asociados a un buque portacontenedores	49
Mapa 5	Retroceso de la línea de costa, para playas seleccionadas con datos de D50 y B, debido al efecto conjunto de cambio en el nivel medio del mar y proyecciones de altura de ola para el escenario de mediados de siglo (2026-2045)	51
Mapa 6	Retroceso de la línea de costa, para playas seleccionadas con datos de D50 y B, debido al efecto conjunto de cambio en el nivel medio del mar y proyecciones de altura de ola para el escenario de finales de siglo (2081-2100).....	52

Prólogo

La ciencia ha venido demostrando que el efecto acumulado del modelo de desarrollo socioeconómico imperante compromete la estabilidad climática del planeta, repercutiendo en los ecosistemas y en el bienestar de la humanidad. Nos ha advertido sobre la necesidad de replantear los actuales patrones de consumo y producción de modo que permitan limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), encauzando la acción global hacia una transformación necesaria para el futuro del desarrollo humano.

A pesar de los avances multilaterales, los compromisos y las acciones concretas aún no logran estar a la altura de la emergencia que se enfrenta y las expectativas de la sociedad. Cada año, los países se dan cita en el período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP) para continuar impulsando y dando seguimiento al cumplimiento de los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París, en 2015, en el sentido de que la reducción de las emisiones de GEI sea compatible con un aumento máximo de la temperatura global de 1,5 °C a fines de siglo. Sin embargo, los compromisos declarados por los países en sus contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) aún no alcanzan las reducciones necesarias para revertir el incremento de la temperatura pronosticado a 2030, ni para alinear los esfuerzos en materia de adaptación que resultan imprescindibles para acompañar las transiciones planificadas.

Así, aún muchos se mantienen inactivos ante la emergencia climática, lo que continuará incrementando los costos a nivel global de la gestión de los impactos en los territorios más vulnerables a la crisis climática.

Al mismo tiempo que se ha empezado a documentar la manifestación y la mayor intensidad de los efectos del cambio climático en nuestro planeta, los científicos han trabajado arduamente en diagnosticar y levantar datos sobre la vulnerabilidad global en materia climática. De acuerdo con el índice de riesgo climático global, en todo el mundo, entre 2000 y 2019 más de 11.000 fenómenos meteorológicos extremos cobraron la vida de más de 475.000 personas y produjeron pérdidas que se estiman en cerca de 2,56 billones de dólares.

En Chile, las sequías e inundaciones han sido identificadas como los fenómenos meteorológicos de mayor impacto, que han generado pérdidas por más de 4.000 millones de dólares y 5.000 millones de dólares, respectivamente, en el período 1926-2019 y han afectado a más de 7 millones de personas.

Chile, como país vulnerable al cambio climático, reconoce el imperativo de agilizar la toma de decisiones robustas frente a amenazas climáticas y ha alcanzado logros importantes en la recopilación, estandarización, validación y territorialización de la información meteorológica, climática y de cadenas de impacto sectoriales. En ese sentido, hoy cuenta con el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím), herramienta que permite visualizar las amenazas climáticas, los niveles de exposición y la sensibilidad de los sistemas afectados.

Además, el país reconoce la importancia de la estimación de costos de la inacción. En la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), la más reciente política pública presentada por Chile en la COP 26, realizada en Glasgow en noviembre de 2021, los costos de la inacción son un elemento que permite analizar la información disponible para la toma de decisiones en la selección de medidas costo-efectivas en el diseño de los instrumentos de gestión, como planes de mitigación y adaptación sectorial, regional y local, requeridos para el cumplimiento de las metas de gestión climática nacional.

En síntesis, actualmente se cuenta con la información nacional e internacional suficiente para comprender y demostrar que tomar acciones para prevenir y contrarrestar los efectos del cambio climático y adaptarse a ellos resulta menos costoso que continuar recuperándose de los daños ocasionados por los fenómenos climáticos.

Las investigaciones tendientes a estimar los costos de la inacción frente al cambio climático se convierten en una herramienta de análisis necesaria para identificar prioridades, comparar alternativas de acción y reducir las consecuencias adversas del cambio climático en los territorios más vulnerables. Tales estudios no solo contribuyen a la toma de conciencia y el empoderamiento social ante el fenómeno, sino que también ponen de relieve la importancia de generar cambios, incrementar la innovación y fortalecer la resiliencia.

El presente estudio tuvo como propósito analizar el costo de la inacción ante el cambio climático en Chile en un horizonte de 50 años. Para ello se analizaron sus impactos en siete sectores, mediante una proyección del escenario sin introducción de cambios (con una trayectoria de concentración representativa (RCP) de 8,5), en el que los niveles de emisiones se mantienen muy altos, como hasta ahora. Los resultados presentan una gama de análisis interesantes que aportan a la efectiva toma de decisiones en los territorios, puesto que consideran los efectos locales del impacto global del cambio climático, analizando las particularidades de las distintas actividades sectoriales.

El Ministerio del Medio Ambiente de Chile y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) destacan la relevancia de impulsar investigaciones que contribuyan a identificar y cuantificar los múltiples costos sociales y económicos que se producen cuando las sociedades no logran incorporar en sus políticas públicas el imperativo urgente de hacer frente a los efectos del cambio climático y preparar a los territorios más vulnerables mediante una gestión de riesgos climáticos efectiva, cuya implementación considere las particularidades locales.

Esperamos que este documento sea de utilidad para que actores públicos y privados impulsen la acción climática, priorizando y focalizando medidas adecuadas a cada territorio y sector del país.



José Manuel Salazar-Xirinachs
Secretario Ejecutivo
Comisión Económica para
América Latina y el Caribe (CEPAL)



Maisa Rojas Corradi
Ministra del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

Introducción

La acumulación de gases efecto invernadero (GEI) está generando cambios en el clima que tienen efectos medibles en los ecosistemas y la sociedad. Dependiendo de la trayectoria que sigan las emisiones estos cambios podrían generar, además de los esperables impactos a las personas, ecosistemas e infraestructura, importantes efectos económicos. Si no se toman acciones para reducir las emisiones de GEI y para prepararse frente a las consecuencias del cambio en el clima, estos efectos podrían ser mayores; esto es lo que se entiende por inacción frente al cambio climático. La inacción es considerada como el contrafactual o la referencia contra la cual comparar posibles acciones o políticas que contrarresten los efectos del cambio climático. Así, la estimación de los costos económicos de la inacción nos permite apreciar los beneficios de las acciones y políticas de mitigación y adaptación.

Este estudio buscó cuantificar los costos de la inacción, a hacia mediados y fines de siglo, frente a la trayectoria de concentración de emisiones de GEI representativa RCP 8.5 en Chile¹, en ocho sectores económicos clave del país: Agricultura, Agua Potable, Biodiversidad, Energía, Minería, Pesca y Acuicultura, Puertos y Playas, y Salud. Adicionalmente al cálculo de costos, para algunos sectores se identifican políticas y/o programas estatales que impactan en los efectos del cambio climático, generando diferentes intensidades en el avance requerido para la adaptación y mitigación. En cierta medida, este estudio representa la continuidad de los análisis desarrollados en "La Economía del Cambio Climático en Chile" (CEPAL, 2012) enfocándose, sin embargo, en medir el impacto del cambio climático bajo un escenario de inacción, sin buscar proyectar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) ni proponer medidas de mitigación o adaptación.

Este informe presenta en primer lugar la introducción al estudio general y una síntesis de cada estudio sectorial, partiendo por una breve revisión de las principales discusiones metodológicas de la literatura para la estimación de los impactos económicos del cambio climático.

¹ En el escenario RCP 8.5, se asume que las emisiones de GEI continúan aumentando durante todo el siglo XXI, en el escenario "business as usual".

En el capítulo I, se presenta la metodología general del estudio, donde se explica las proyecciones climáticas utilizadas y el enfoque para la medición de los costos económicos de la inacción. Posteriormente, en el capítulo II, se presentan los estudios sectoriales, realizados por distintos grupos de expertos. Para cada uno de ellos se presenta una descripción detallada de la metodología y fuentes de datos, los principales resultados obtenidos y las limitantes y brechas identificadas. En el capítulo III se presenta una síntesis de los resultados obtenidos y, finalmente, las conclusiones del estudio.

A. Impactos económicos del cambio climático a nivel internacional

Uno de los hitos más importantes en la evaluación económica del cambio climático fue el Reporte Stern (2006), primer intento de abordar, en forma detallada y completa, tanto beneficios como costos del impacto, adaptación y mitigación del cambio climático a una escala global. Si bien el informe fue sujeto de fuertes críticas, se considera que incentivó la discusión de distintos aspectos metodológicos (Dasgupta, 2007; Nordhaus, 2007; Tol, 2006; Weitzman, 2007). Las críticas al Reporte Stern, que son relevantes para este estudio, se centraron en la elección de una tasa de descuento, el tratamiento de la incertidumbre, eventos catastróficos y la incorporación de costos y beneficios de la adaptación.

Diversos países han intentado incluir en su proceso de toma de decisiones de política pública el costo social del carbono, que busca reflejar los daños económicos asociados a un aumento en las emisiones de GEI. Esta línea surge de la idea de apoyar la toma de decisiones en políticas públicas contrarrestando los costos de la mitigación con sus beneficios. Por ejemplo, en EEUU, bajo la Orden Ejecutiva 12866², las agencias de gobierno debían evaluar los beneficios económicos de la disminución de GEI (IWG-SCC 2010, 2016). Los estudios realizados por este grupo de agencias del gobierno de EEUU encontraron valores de 26; 69; 95 y 212 USD de 2007 por tonelada de CO₂ al 2050. Los tres primeros valores usan tasas de descuento de 5, 3 y 2,5%, respectivamente. El cuarto valor usa una tasa de 3% pero representa una situación con impactos posibles, pero más altos a los esperados. En el Reino Unido, a partir de 2002 se calculó el costo social del carbono para la evaluación de políticas, pero luego, en 2009, fue reemplazado por el precio sombra del carbono, que refleja el costo de cumplir las metas comprometidas en la reducción del carbono y no los daños que este genera.

Por otra parte, en el Capítulo 10 del V Informe del IPCC, se analiza la literatura que ha realizado estimaciones del impacto del cambio climático en distintos sectores de la economía (Arent et al., 2014). Si bien en ese capítulo no existen estimaciones económicas originales, se presenta una discusión de la literatura incluyendo el cálculo del costo social del carbono. En el Capítulo 4 de ese mismo informe se discuten, muy brevemente, las consecuencias y costos de la inacción en los servicios ecosistémicos. Adicionalmente, la Agencia Ambiental Europea desarrolló un estudio para revisar metodologías y proponer áreas de investigación en la estimación de los costos de adaptación e inacción (EEA, 2007). En ese estudio se plantearon desafíos que se deben abordar en la estimación de costos de inacción, como el tratamiento de la incertidumbre, el tipo de adaptación y los efectos que se reflejan en los mercados o fuera de ellos, además de plantear desafíos específicos por sector.

En 2009, CEPAL (2009, 2015) lanza su primer estudio sobre la Economía del Cambio Climático en Latinoamérica y el Caribe, a la que luego le seguirían otras publicaciones específicas por país. Estos estudios son el primer esfuerzo sistemático de estimación de los impactos económicos del cambio climático en países de la región (Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Colombia, Uruguay y países de Centro América).

² Orden Ejecutiva 12866 de 30 de septiembre de 1993, United States Federal Register, volumen 58, Nº 190.

B. Impactos económicos del cambio climático en Chile

En el caso de Chile, existen algunos estudios sectoriales previos referentes al costo de los impactos del cambio climático, como, por ejemplo, el del sector silvoagropecuario (ODEPA, 2010), pero el esfuerzo coordinado por CEPAL (2012), fue el primero en sistematizar estimaciones del impacto económico para distintos sectores a nivel país. El presente estudio busca actualizar los resultados de ese esfuerzo no sólo incorporando la existencia de nuevas modelaciones climáticas y físicas para el país, sino también los avances metodológicos en la literatura. Posteriormente, se han realizado estudios específicos para algunos sectores, como agricultura (Fernández et al., 2016, 2019; Ponce et al., 2014), pesca (desde una perspectiva más global) (Barange et al., 2015; Disen, n.d.; Lam et al., 2016; Yáñez et al., 2017), salud (Monsalves-Gavilán et al., 2013) y generación eólica de electricidad (Rosende et al., 2019), pero pocos han incorporado nuevas estimaciones económicas de los impactos y adaptación al cambio climático. En la mayoría de los casos se habla de impactos, pero no se toman en cuenta efectos dinámicos, como medidas de adaptación, ajustes en los mercados o cambios tecnológicos.

Por otra parte, algunas estimaciones internacionales del costo social del carbono para Chile encuentran que este sería negativo, sugiriendo que un aumento en las emisiones podría traer más beneficios que costos (Ricke et al., 2018). Sin embargo, muchos de estos modelos no tienen suficiente detalle como para abordar las particularidades de cada país y sector. Además, en Chile el esfuerzo por estimar un precio social del carbono que refleje los costos que generará el cambio climático en el país, ha sido sustituido por el precio sombra de los costos asociados a la mitigación (Ministerio de Desarrollo Social, 2017).

C. Modelos para la estimación económica de efectos del cambio climático

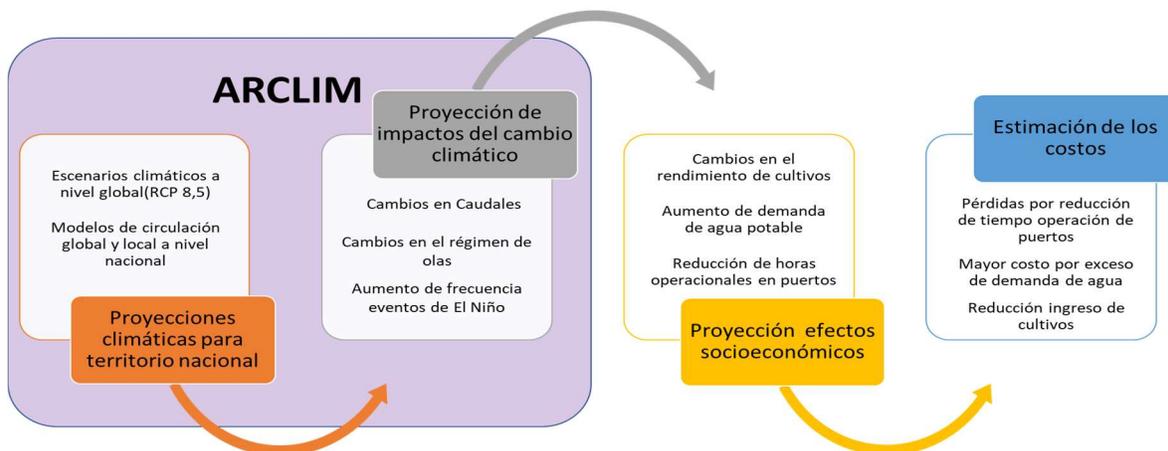
La literatura científica ha abordado la estimación de los impactos económicos del cambio climático utilizando básicamente tres tipos de modelos: de procesos físicos, económicos estructurales y empíricos (National Academies of Sciences, 2017). Los procesos físicos generalmente relacionan los efectos climáticos con sistemas productivos, sociales o naturales. Un ejemplo de esto son los modelos de crecimiento de plantas, modelos oceanográficos, y modelos hidrológicos. Por otra parte, los modelos económicos estructurales plantean relaciones de mercado entre agentes, para incorporar los efectos físicos derivados del cambio climático. Estos modelos pueden desarrollarse a partir de la calibración o estimación econométrica de los parámetros y, generalmente, se usan acoplados a modelos físicos. Ejemplos de estos modelos son aquellos que reproducen el funcionamiento de mercados como el de la energía, la tierra, o los alimentos frente a nuevas condiciones productivas. Los modelos empíricos, por su parte, utilizan relaciones estadísticas para conectar los cambios observados en el clima con cambios en las variables de resultados a través de funciones dosis respuesta. Estos modelos estiman funciones que, por ejemplo, relacionan los rendimientos de los cultivos, la mortalidad o los desembarques de pesca, con el clima, a partir de datos estadísticos. Moore, Baldos, & Hertel (2017) hacen una comparación de los resultados obtenidos por modelos basados en procesos físicos y modelos empíricos para evaluar el impacto del cambio climático en la productividad de cultivos agrícolas y encuentran pocas diferencias entre ambos tipos de modelos.

I. Metodología general

A. Metodología general del estudio

Si bien cada evaluación sectorial desarrolló su propia metodología, es posible identificar algunos enfoques similares entre ellos. El siguiente diagrama presenta de manera esquemática la metodología general utilizada para estimar los costos de la inacción frente al cambio climático en Chile.

Diagrama 1
Esquema metodológico general para la estimación de los costos de la inacción frente al cambio climático



Fuente: Elaboración de los autores.

En casi todos los sectores, se utilizan modelaciones propias, o de estudios previos, para relacionar el cambio desde el clima actual a uno bajo el escenario RCP 8.5 a mediados y fines de siglo, con un efecto físico en el sector³. Se eligió el escenario RCP 8.5 ya que representa uno de los escenarios más extremos en términos de la concentración de gases efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, y corresponde de mejor manera a la situación de inacción respecto a la reducción de emisiones. En este sentido, tomar un escenario extremo permite conocer el rango de posibles consecuencias futuras. Si bien en principio se buscó que todas las evaluaciones trabajaran con las mismas proyecciones climáticas, pero dada la información disponible, esto no siempre fue posible.

Una vez identificados los efectos físicos del cambio climático en el sector estudiado, los autores procedieron a evaluar económicamente esos efectos. Estas evaluaciones siguieron distintas aproximaciones en cada sector, pero una descripción general de ellas se presenta en el capítulo I, sección C.

Uno de los aspectos claves definidos en cada estudio es la incorporación de la adaptación en los modelos. Por una parte, resulta poco realista suponer que los agentes, en forma unilateral, no cambiarán su comportamiento frente a efectos reiterados del clima, pero también cabe esperar que se implementen acciones colectivas y políticas públicas planificadas para abordar los efectos del cambio climático. Por lo tanto, una evaluación de los costos del cambio climático frente a un escenario de inacción debe definir claramente qué se considerará como inacción, distinguiendo entre adaptación endógena (o autónoma) y adaptación planificada (acción sectorial o multisectorial). Como criterio para definir una adaptación endógena se consideraron aquellas acciones que, se espera, ocurran sin la existencia de una política o acción planificada centralizadamente, y que tenga efectos potencialmente significativos en los impactos económicos. Naturalmente, el costo de las medidas de adaptación, tanto endógenas como planificadas, también puede ser incluido en el cálculo de los costos de la inacción al contrastarlos con el escenario sin medidas. Butler & Huybers (2013), por ejemplo, utilizan un corte transversal de rendimientos de maíz en distintas zonas climáticas de EEUU para evaluar el potencial de adaptación futura del cultivo de maíz.

En Chile, el estudio para evaluar los impactos socioeconómicos del cambio climático en agricultura incorporó un modelo económico para asignar el uso de la tierra y reflejar la adaptación endógena producto de un cambio en los rendimientos relativos de los cultivos (ODEPA, 2010; CEPAL, 2012).

En este sentido, para cada sector, se trató de identificar medidas de adaptación tanto planificadas como endógenas e incorporarlas separadamente en el modelo, cuantificando los impactos con y sin adaptación planificada. Dado el alcance del estudio, y que muchos de los modelos no fueron especialmente desarrollados para este objetivo, la incorporación de las medidas de adaptación fue más bien limitada. Particularmente, se identificaron adaptaciones endógenas en los sectores de agricultura, energía, minería y pesca industrial. La idea de incorporar medidas de adaptación planificada es evaluar su impacto en términos de la reducción de los costos que podrían aportar.

El estudio del sector agrícola fue el único que incorporó dentro de la modelación tanto medidas de adaptación endógena como planificadas. Como adaptación endógena se identifica la forma en que los agricultores modificaron el patrón de cultivos frente al cambio climático, y en cuanto a la adaptación planificada, se evalúan las consecuencias de incorporar variedades de cultivos con mejor tolerancia a las nuevas condiciones climáticas. En el sector de pesca industrial se modela la adaptación endógena al incorporar la decisión de pesca frente a variables climáticas. En el caso de minería, se evalúa un escenario en el que la industria del cobre debe optar por la utilización de agua desalinizada debido a la pérdida de derechos de agua. A pesar de que este escenario podría interpretarse como una medida de adaptación, no se evalúa como tal, sino como un posible escenario generado por posibles presiones sociales debido a la escasez del recurso hídrico.

³ El estudio del sector minería no utilizó modelaciones del clima, las razones se exponen en el capítulo I, sección B, en donde se presenta una descripción más detallada de los escenarios climáticos y los modelos climáticos asociados.

Por último, en el sector de energía se considera que las operaciones de generación de energía eléctrica están optimizadas. Eso implica que el curso de acción en el cambio de la generación sería la misma con o sin la presencia de cambio climático, por lo que no puede analizarse como una medida de adaptación *per se*.

Dada la complejidad de anticiparse a todos los posibles cambios de mediano y largo plazo, la interpretación de los resultados de este estudio no debe tomarse como una predicción de lo que ocurrirá en el futuro. El ejercicio consiste, más bien, en cuantificar los efectos del cambio en el clima bajo escenarios futuros razonables. En algunos casos la incertidumbre asociada a todos los posibles cambios futuros es muy grande y no permitiría identificar los efectos del cambio en el clima. Para construir estos escenarios futuros los autores se basaron en las condiciones actuales de su sector y, en algunos casos, hicieron proyecciones, o las tomaron si existían, de variables clave para los resultados.

Los estudios abordaron la incertidumbre existente en la modelación de distintas formas, ya sea cuantificando o identificando las fuentes de incertidumbre en las estimaciones, sensibilizando en parámetros clave y/o construyendo intervalos de confianza. Sin embargo, los estudios no pudieron abordar potenciales daños catastróficos, irreversibles o no graduales que, aunque pudieran tener muy baja probabilidad de ocurrencia, podrían traducirse en importantes daños esperados.

B. Escenarios climáticos utilizados

Las proyecciones climáticas son herramientas de análisis que proveen información esencial para la toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas para la mitigación y adaptación al cambio climático. Por lo tanto, estas se han convertido en un punto focal de estudio para la comprensión de los posibles efectos de distintas variables climáticas sobre los sistemas socioecológicos.

El desarrollo de las proyecciones climáticas se basa en la elaboración de modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés). Estos modelos son simulaciones detalladas del clima, basadas en cuadrículas que utilizan la física de la atmósfera para predecir eventos climáticos durante horas, días e incluso décadas. Sin embargo, los resultados generados por los GCM tienen una resolución espacial que no representa adecuadamente la información climática regional, nacional o local (Semenov & Stratonovitch, 2010). Por lo tanto, se han realizado esfuerzos por generar modelos de circulación regional (RCM por sus siglas en inglés), con el fin de reducir la resolución espacial y obtener información más confiable. A este proceso de especificación de los modelos se le conoce como *downscaling*.

Los RCM utilizan la información más confiable derivada de los GCM y complementan las simulaciones con información local de variables, dependiendo de la disponibilidad de datos y objetivos de los estudios particulares. Sin embargo, al igual que en los GCM, en los RCM la dinámica atmosférica está condicionada por el forzamiento radiativo y variables que lo afectan, como las emisiones de GEI (IPCC, 2014).

De acuerdo al IPCC (2013) en su quinto informe, el forzamiento radiativo (W) se define como aquella "Variación, expresada en $W\ m^2$ (watts por metro cuadrado), del flujo radiativo (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono o de la radiación solar..." (192). En base a esto, en su quinto informe, el IPCC definió distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, denominados trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales se caracterizan por un forzamiento radiativo que oscila entre 2,6 y 8,5 W/m^2 para el año 2100. El escenario RCP 8.5 representa el mayor riesgo y, dentro de la literatura de cambio climático, es empleado como una condición *business as usual*, lo que implica que es el escenario más probable en ausencia de rigurosos esfuerzos de mitigación climática (Riahi et al., 2011).

Bajo este escenario de emisiones, se han realizado diversos esfuerzos regionales y nacionales para el desarrollo de modelos climáticos.

A nivel nacional, y para este estudio, son de gran importancia las modelaciones generadas por el proyecto Atlas de Riesgo Climático (ARCLIM), el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia —CR2— y el Centro de Cambio Global UC, las cuales contienen diversas variables de interés utilizadas para el desarrollo de los estudios sectoriales. A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las modelaciones usadas en este estudio.

ARCLIM es un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) desarrollado por un conjunto de instituciones académicas y centros de investigación de todo el país. Este, tiene como objetivo generar mapas de riesgo relacionados al cambio climático en Chile para mediados de siglo (2035-2065), a partir de un marco conceptual común y bases de datos consistentes. Las proyecciones del clima se obtuvieron agregando los resultados de 35 modelos globales⁴ para el periodo 1970-2070. Dado que estos modelos entregan resultados en una grilla de cobertura global, se realizó un proceso de escalamiento (*downscaling*), llevando los resultados a una grilla de cobertura nacional y con resolución de 5x5 km, los cuales fueron ajustados mediante la metodología *Quantile-Quantile* (ARCLIM, 2020). Los resultados ARCLIM fueron el principal insumo sobre proyecciones climáticas para los estudios sectoriales para mediados de siglo (ver cuadro 1). Sin embargo, como no se generaron proyecciones para fines de siglo fue necesario recurrir la simulación regional RegCM4.

La *Simulación Regional RegCM4* corresponde a una metodología de escalamiento regional para mejorar la comprensión del clima a partir de modelaciones de área limitadas, y fue desarrollada por el CR2 por encargo del MMA, en base al proyecto "*Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad*". Las simulaciones se hacen en base a la región sudamericana, con una grilla de 50 km y, posteriormente, realizando un escalamiento a nivel nacional con una grilla de 10 km (CR2, 2018). Estas proyecciones generaron información de 19 variables climáticas en el periodo 2006-2100, por lo que fueron empleadas para los análisis de impactos del cambio climático para finales de siglo (ver cuadro 2).

Si bien las proyecciones *RegCM4* también están disponibles para mediados de siglo, se prefirió usar la modelación de ARCLIM por su robustez. Esto significa que para los estudios que usaron estas dos fuentes (ver cuadros 1 y 2) los resultados para mediados de siglo no son estrictamente comparables con los resultados de fines de siglo, dadas las diferencias metodológicas y de fuentes de datos usadas en el escalamiento de las proyecciones climáticas.

La información hidrológica empleada en este estudio se obtuvo a partir del análisis de la influencia de la variabilidad climática en cuencas chilenas en base del proyecto del Balance Hídrico Nacional desarrollado por el Centro de Cambio Global y la Universidad de Chile. Las proyecciones de las variables climáticas se obtuvieron a partir del promedio de cuatro GCMs según su comportamiento histórico y futuro; CCSM4 (CC), CSIRO-Mk3-6-0 (CS), IPSL-CM5A-LR (IP) y MIROC-ESC (MI) (DGA, 2017).

Asimismo, dentro de los informes sectoriales se generan algunos modelos locales específicos. La información desagregada de las variables analizadas y sus fuentes de información se presentan en los cuadros 1 y 2 para mediados y fines de siglo, respectivamente⁵.

⁴ Ver detalle de los modelos en <https://ARCLIM.mma.gob.cl/amenazas/>.

⁵ El sector minería no utilizó directamente los resultados de proyecciones climáticas o hidrológicas. Ver capítulo II, sección E.

Cuadro 1
VARIABLES ANALIZADAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS
DEL COSTO ECONÓMICO DE LA INACCIÓN A MEDIADOS DE SIGLO^a

Sector	VARIABLES ANALIZADAS	Fuente de información climática
Agropecuario	Cambios en el rendimiento de cultivos	ARCLIM
Agua potable	Cambio en caudales Temperatura Precipitación	Balance Hídrico Nacional RegCM4-CR2
Biodiversidad y turismo	Cambio en precipitación Cambio en temperatura Aumento de riesgo de incendios forestales Elevación de la isoterma cero Disminución de acumulación de nieve	ARCLIM
Energía	Cambio en caudales Temperatura	RegCM4-CR2 Balance Hídrico Nacional
Pesca y acuicultura	Cambio en régimen de olas	Ensamble de 6 modelos (ACCESS 1.0, MRI-CGM3, MIROC5, HadGEM2-ES, CMCC-CM y EC-EARTH)
	Aumento de frecuencia de eventos de "El Niño"	Modelo obtenido de Cai et al., 2018
	Eventos de floraciones masivas	ARCLIM
Puertos y playas	Cambio en régimen de olas	Ensamble de 6 modelos (ACCESS 1.0, MRI-CGM3, MIROC5, HadGEM2-ES, CMCC-CM y EC-EARTH)
	Nivel medio del mar	Ensamble 20 MGC con datos disponibles para el océano pacífico (nivel del mar)
Salud	Temperatura Humedad específica	RegCM4-CR2

Fuente: Elaboración de los autores.

^a Este listado excluye el sector Minería ya que no incluyó una modelación con datos climáticos.

Cuadro 2
VARIABLES ANALIZADAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS
DEL COSTO ECONÓMICO DE LA INACCIÓN A FIN DE SIGLO^a

Sector	VARIABLES ANALIZADAS	Fuente de información climática
Energía	Cambio en caudales	RegCM4-CR2
	Temperatura	Balance Hídrico nacional
Pesca y acuicultura	Cambios en régimen de oleaje	Ensamble de 6 modelos (ACCESS 1.0, MRI-CGM3, MIROC5, HadGEM2-ES, CMCC-CM y EC-EARTH)
Salud	Temperatura	RegCM4-CR2
	Humedad específica	

Fuente: Elaboración de los autores.

^a Solamente se incluyen los sectores que realizaron análisis para fin de siglo.

C. Enfoques de valoración

En el cálculo de valor económico se pueden identificar dos ámbitos: valores de mercado y valores económicos que no se derivan de un mercado, por ejemplo, para la valoración de biodiversidad o efectos en mortalidad y morbilidad (Goulder & Pizer, 2006). En el primer caso se pueden medir los efectos con métodos tradicionales de la economía del bienestar, por ejemplo, a partir de cambios en oferta y demanda. En el segundo caso se debe recurrir a métodos de valoración basados en preferencias reveladas o declaradas (Cerdeira & Melo, 2019; Champ et al., 2003; Johnston et al., 2017). En los casos en que los

recursos o plazos no permiten desarrollar este tipo de estudios se puede aplicar la metodología de transferencia internacional de beneficios. Los estudios de biodiversidad, playas y salud usan este enfoque.

La mayor parte de los otros sectores cuantifican los costos de la inacción ya sea por cambios en los costos de producción, reducciones en las ventas o ambos, es decir reducciones en los ingresos netos de los agentes. El sector Agricultura cuantifica el costo asociado a cambios en los rendimientos de 13 cultivos, los cuales se traducen en cambios en el ingreso agrícola neto y el empleo agrícola. El sector de Agua Potable cuantifica el costo asociado a un exceso de demanda de agua. En el sector de Biodiversidad y Turismo en áreas protegidas, la cuantificación del costo se realiza mediante el cálculo de la pérdida de provisión de servicios ecosistémicos por unidad de área para distintos ecosistemas. El sector Energía mide los cambios en los costos totales de generación y transmisión eléctrica. En el caso del sector minero, los costos se midieron a partir de la reducción de producción de cobre en escenarios con cambio climático y con economía circular del cobre. El estudio de puertos calcula las diferencias en los ingresos por cambios en el tiempo de operación de los puertos debido a eventos de cambio climático, a partir de las tarifas que estos cobran, mientras que el estudio de playas calcula los costos asociados a la reducción del ancho de playas de uso recreativo. Por su parte, en el sector de pesca y acuicultura se utilizan cuatro valoraciones distintas para áreas específicas dentro de cada sector. Para la pesca artesanal se calculó el costo relacionado a la reducción de horas disponibles para realizar la actividad pesquera, en la pesca industrial el costo asociado a los cambios en comportamientos de los pescadores debido a cambios en los stocks de Jurel.

El costo asociado a la industria de mitílicos se evalúa mediante las pérdidas por reducción en el precio por cambios en los atributos comerciales del recurso, mientras que en la acuicultura de salmones se evalúa el costo asociado a la pérdida de productividad. Por último, el sector de salud evalúa los costos asociados a la pérdida de productividad por mortalidad y egresos por morbilidades provocadas por el cambio climático.

El hecho que los efectos del cambio climático se pueden manifestar durante muchos años, hace que la elección de la tasa de descuento sea determinante en los resultados. Existe una larga discusión en la literatura respecto de cómo abordar este problema (Heal 2009; Gollier & Weitzman 2010; Arrow et al., 2013). Generalmente se distingue entre tasas exógenas y endógenas a las trayectorias de consumo, que toman en cuenta la tasa de preferencia intertemporal y la elasticidad de la utilidad marginal del consumo. Si bien en Chile no existe una metodología oficial al respecto, sí se han realizado estudios para evaluar posibles tasas de largo plazo (MINDESOC, 2014). Sin embargo, en este estudio se ha preferido presentar los resultados como los costos representativos para un año a mediados y fines de siglo. En parte esta decisión responde a la falta de precisión en las proyecciones climáticas como para considerarlas representativas de un año en particular. En otros casos la modelación año a año estuvo fuera del alcance de este estudio. No obstante, algunos estudios sí realizaron estimaciones intermedias y obtuvieron el valor presente de los costos usando varias tasas de descuento alternativas.

D. Proyecciones socioeconómicas

Como se mencionó en la sección anterior, cada sector realizó proyecciones de variables ambientales y físicas para calcular el costo de la inacción ante el cambio climático. Asimismo, varios sectores también realizaron proyecciones de variables socioeconómicas relevantes para las valoraciones. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las proyecciones de variables socioeconómicas realizadas dentro de cada uno de los informes sectoriales.

Cuadro 3
VARIABLES SOCIOECONÓMICAS MODELADAS Y PERÍODO DE CÁLCULO PARA
EL ANÁLISIS DEL COSTO DE INACCIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO^a

Sector	Proyecciones socioeconómicas	Período estimación
Agua potable	Proyección de población Consumo de agua potable por hogar	2050
Minería	Estimación del precio del cobre a largo plazo	Anual 2020-2100
Puertos y playas	Estimación de viajes de recreación de hogares chilenos	Cuantificación por décadas entre 2020-2100
Salud	Proyección de población	Cuantificación anual en períodos del 2035-2069 y 2010-2099

Fuente: Elaboración de los autores.

^a En este cuadro solo se incluyen los sectores que utilizaron variables socioeconómicas en la modelación.

II. Síntesis de estudios

Los estudios sectoriales realizaron el análisis del impacto económico del cambio climático, además analizaron efectos socioeconómicos, como empleo, y revisan estudios previos a nivel nacional e internacional que hayan abordado los efectos en el sector. Esto permitió evaluar la información disponible en cuanto a datos usados en las modelaciones y a resultados que sirven para comparar los resultados obtenidos y las brechas de información existente. También en algunos casos orienta respecto de las distintas metodologías utilizadas y su ventajas y desventajas. Adicionalmente a esto algunos estudios revisaron las políticas públicas que pueden tener injerencia en los efectos del cambio climático en cada sector, tanto reduciéndolos como potenciándolos⁶. En esta sección no se presentan los resultados de variables como el empleo, ni la revisión de estudios previos o políticas públicas, si no que el énfasis se centró en las metodologías y principales resultados obtenidos respecto de los costos de la inacción en el sector. Sin embargo, todos estos antecedentes se presentan en los capítulos de cada sector.

Para cada sector se realizó una revisión exhaustiva de la información existente sobre Chile, considerando el estado del arte del impacto en el país y de metodologías de evaluación de impacto económico a nivel internacional, revisando tanto estudios publicados, como literatura gris⁷ y estudios privados que puedan estar disponibles. También se revisó para qué efectos derivados del cambio climático existe evidencia en Chile, y si existen estudios de atribución de estos efectos en cada sector.

Se realizó un análisis cuantitativo en aquellos aspectos de cada sector donde ya existe información y un análisis cualitativo en aquellos donde no hay suficiente información y se requiere de modelaciones o levantamientos adicionales.

En varios sectores los efectos físicos se obtuvieron de las estimaciones realizada en el proyecto de Mapas de Riesgo (ARCLIM). En el caso de las metodologías que utilizaron información de mercado

⁶ Agricultura, Agua potable, Biodiversidad y Turismo en áreas protegidas, Energía, Minería, Pesca y acuicultura y Salud.

⁷ La literatura gris, también llamada no convencional, semi-publicada, invisible, menor o informal, es cualquier tipo de documento que no se difunde por los canales ordinarios de publicación comercial, y que por tanto plantea problemas de acceso. Por ejemplo, tesis, actas de congresos, informes de investigación, etc.

se usaron proyecciones de precios considerando modelaciones internacionales que en lo posible consideraran o fueran consistentes con el escenario climático utilizado (por ejemplo, en el sector minería). Los efectos positivos del cambio climático, es decir, reducciones de costos fueron identificados e incluidos explícitamente, pero en forma separada en los cálculos.

A continuación, se detallan las modelaciones y análisis de resultados para los sectores estudiados.

A. Agricultura

Los costos económicos de la inacción frente al cambio climático en el sector agrícola se evaluaron utilizando un modelo que simula el comportamiento agregado de agricultores ante un cambio en los rendimientos de un grupo de cultivos, producto del cambio climático. El modelo utiliza el cambio en los rendimientos esperados de 13 cultivos para un clima representativo de mediados de siglo (2050) bajo el escenario RCP 8.5, y tomando como base el año 2018. Los cultivos anuales son alfalfa, frejol, maíz, avena, papa, arroz, remolacha y trigo, y los cultivos permanentes manzano, cerezo, durazno, ciruelo y nogal. Se seleccionaron estos cultivos ya que fueron los únicos disponibles del estudio sectorial de ARCLIM o que fue posible homologar a alguno de ellos. Estos cambios en rendimientos se traducen en cambios en los ingresos netos por hectárea que genera cada cultivo lo que lleva a ajustes en la cartera de cultivos presentes en cada comuna. El comportamiento modelado se basa en la maximización de ingresos y se traduce en cambios en la asignación de tierra entre distintos cultivos, lo que genera cambios en los ingresos agregados y el empleo agrícola de cada comuna.

Así, los costos de la inacción frente al cambio climático en este estudio se miden como los cambios en los ingresos netos agregados del sector agrícola, a partir de la situación actual pero enfrentado el clima del año 2050 bajo el escenario RCP 8.5.

El análisis se realiza para dos escenarios alternativos: sin y con adaptación. El primero, solo incluye una forma de adaptación endógena que es el cambio en el portafolio de cultivos a consecuencia de las nuevas condiciones climáticas. El segundo escenario evalúa las consecuencias de implementar medidas de adaptación planificadas y centralizada, posiblemente como resultado de una política pública implementada. Específicamente, se evalúa la incorporación de variedades mejoradas de trigo, avena y maíz, cuyo rendimiento es mayor en un 20%.

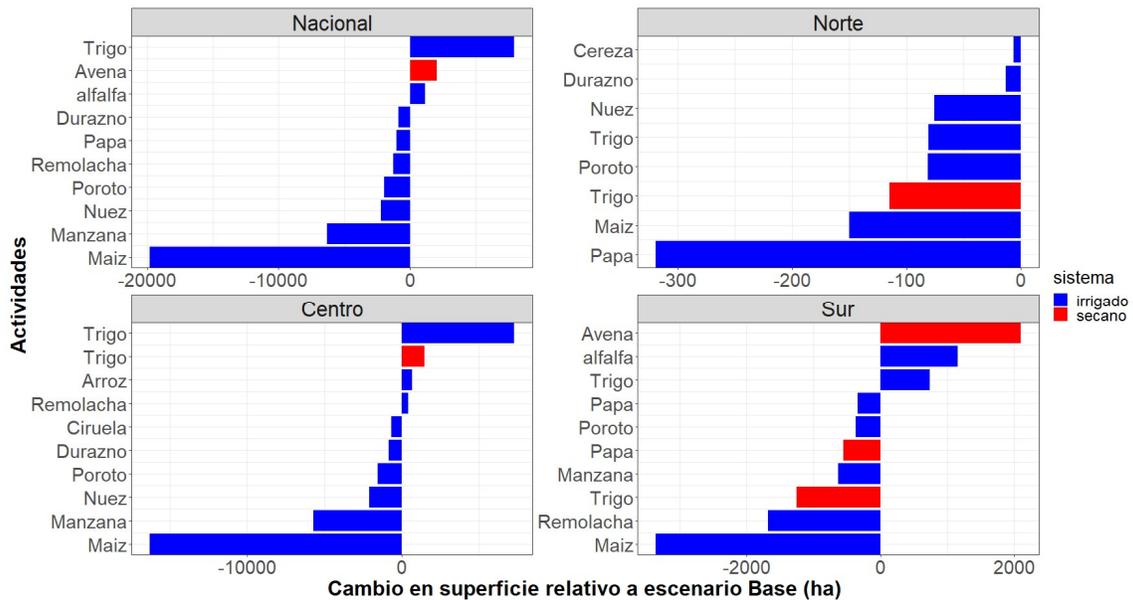
La información climática y los impactos biofísicos sobre la productividad agrícola nacional fueron obtenidos del proyecto Atlas de Riesgos Climáticos (ARCLIM). Ese estudio proyectó los cambios en rendimientos para cultivos entre las regiones de Atacama y Los Lagos, donde se concentra la mayor parte de la producción agrícola del país, utilizando el modelo CROPSYST que, además del clima, utiliza las características del suelo y tipo de manejo para determinar la productividad de los cultivos.

La información de uso de la tierra proviene del último Censo Agrícola Nacional (INE, 2007), con desagregación a nivel comunal. La información de costos de producción de cada cultivo por comuna, actividades y sistemas de riego, al igual que la intensidad de trabajo, es la misma empleada en el estudio de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA, 2010). Esta información fue actualizada al año 2018 con datos de área, rendimientos y precios de FAO. Para calibrar el modelo las elasticidades fueron obtenidas de estudios previos (Quiroz et al., 1995; CAPRI Model, 2008; Foster et al., 2011).

El modelo incluye 232 comunas, distribuidas entre las regiones de Atacama y Los Lagos, considerando un total de 612.242 hectáreas cultivadas, lo que representa aproximadamente un 50% del total nacional para el año 2007. De esta superficie 326.681 ha son de riego y 289.560 ha de secano. Para efectos del análisis de esta información, se divide el país en tres zonas: i) Zona Norte: regiones de Atacama y Coquimbo; ii) Zona Centro: desde la región de Valparaíso hasta el Maule, iii) Zona Sur: desde la región del Biobío hasta Los Lagos.

Los impactos son heterogéneos al realizar los análisis entre los cultivos para las distintas zonas. En el gráfico 1 se presenta, para los cultivos modelados, los cambios ocasionados por el escenario de cambio climático en la superficie de cultivo de las 10 actividades que sufrieron mayores variaciones (aumento o disminución) a nivel nacional y por tipo de sistema (secano, irrigado). A nivel nacional, las actividades que sufrirán mayores aumentos en la superficie son trigo irrigado (7.936 ha), avena (2.029 ha) y alfalfa (1.148 ha), esta última, principalmente impulsada por un aumento en la zona sur de un 19% (1.148 ha). Por otro lado, actividades irrigadas como maíz (-19.795 ha), manzana (-6.327 ha) y nuez (-2.212 ha) serán las actividades más perjudicadas a nivel nacional.

Gráfico 1
Principales 10 cambios en superficies de cultivos a nivel nacional y por zona debido al escenario de cambio climático



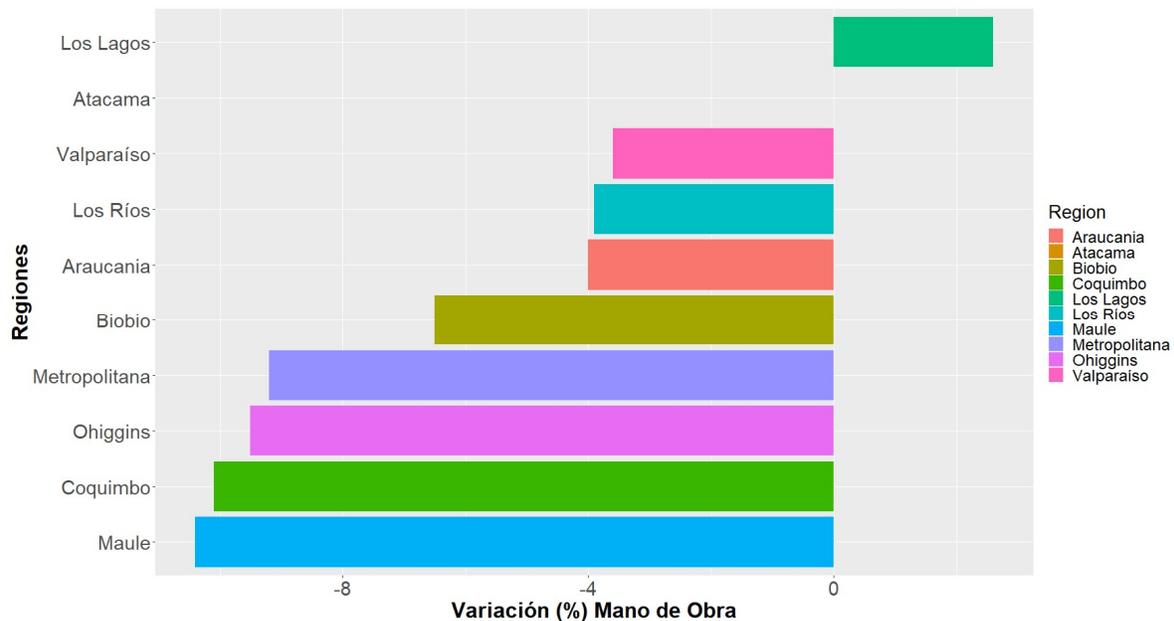
Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados obtenidos indican que, en el escenario sin adaptación, el ingreso agrícola neto tendría una reducción del 28%, mientras que en el escenario con adaptación habría una reducción del 25%. Esta reducción es equivalente a un 10% del PIB silvoagropecuario nacional de 2019. Naturalmente se debe considerar que este estudio no incluyó todos los cultivos del sector ni tampoco los subsectores pecuarios y silvícola. El mayor aporte a las reducciones del ingreso agrícola nacional proviene de las regiones de O'Higgins y Maule las cuales en conjunto representan una pérdida del 59% del ingreso agrícola nacional, principalmente debido a la pérdida de ingresos de frutales y cultivos como el maíz.

A nivel regional, los mayores impactos económicos relativos se generan en las Zonas Centro y Norte. Por otro lado, la Zona Sur es la que presenta menor impacto ante el cambio climático, aun cuando existiría efectos una disminución del ingreso generado por cultivos de frutales y maíz en las regiones del Biobío, La Araucanía y Los Ríos, habría una compensación parcial por el aumento en ingresos de alfalfa y papas. Este impacto diferenciado por zonas y regiones sugiere que la frontera agrícola del país se traslada hacia el sur, lo cual es consistente con los resultados de estudios previos (ODEPA, 2010).

El cambio climático también generará un impacto sobre los requerimientos de trabajo del sector, se proyecta que las mayores disminuciones porcentuales serán en las regiones del Maule y Coquimbo, mientras que en la región de Los Lagos aumentará (véase el gráfico 2). Este efecto sobre el empleo releva la necesidad de políticas que promuevan la creación de trabajo, posiblemente fuera del sector agrícola como medidas de adaptación al cambio climático (Barnett & O'Neill, 2012; Fernández et al., 2019; Karfakis et al., 2012).

Gráfico 2
Variación porcentual mano de obra ante escenario de cambio climático
en comparación a escenario base



Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 4 se puede observar el costo asociado a los efectos del cambio climático tanto para el escenario sin adaptación, como para el escenario con la política de adaptación modelada para distintas regiones del país. Las regiones que presentan los costos más altos son la Región de O'Higgins, Maule y Metropolitana. Asimismo, se puede observar que, en el caso de estas tres regiones, los costos representan más del 10% del PIB agrícola regional, y cerca de un 1,6% del PIB regional para O'Higgins y Maule. Por otro lado, la región de Los Lagos muestra que con las condiciones climáticas modeladas aumentará en 0.29% su PIB agrícola regional. En las tres regiones más australes analizadas (Araucanía, Los Ríos y Los Lagos) las medidas de adaptación generan beneficios.

La modelación de la medida de adaptación planificada de incorporación de variedades resistentes indica que, si bien esta puede reducir el impacto económico del cambio climático, su efecto es acotado. A nivel nacional el efecto la medida de adaptación implica reducir en 3 puntos porcentuales los costos del cambio climático. En la interpretación de este valor se debe recordar que la medida de adaptación modelada representa una, de muchas posibles medidas y que no necesariamente es representativa de las medidas actualmente en consideración. No obstante, cuando se analiza el efecto de esta medida por zona geográfica, se observa que en la Zona Norte no se esperan cambios en los ingresos netos con las medidas de adaptación respecto de la situación sin medidas (véase el cuadro 4). En el caso de la Zona Centro el efecto es menor con una disminución promedio de 0,75 puntos porcentuales, mientras que en la Zona Sur el impacto económico de la medida implica una mejora promedio de 12,5 puntos porcentuales, con respecto a la situación base. Lo anterior pone de manifiesto la relevancia de incorporar las condiciones locales en la planificación e implementación de políticas de adaptación planificadas.

Cuadro 4
Costos de la inacción frente al cambio climático en el sector agrícola

Región	Costos (En millones de pesos)		Escenario con cambio climático	
	Cambio climático	Cambio climático y una política de adaptación	Porcentaje de PIB regional 2019	Porcentaje PIB agrícola regional 2018
Atacama	115	115	0,003	0,16
Coquimbo	18 530	18 490	0,340	5,05
Valparaíso	29 705	29 313	0,190	4,99
Metropolitana	80 393	78 769	0,100	11,89
O'Higgins	136 710	129 738	1,620	12,11
Maule	14 334	111 033	1,690	13,25
Biobío	28 591	18 710	0,200	3,71
Araucanía	19 325	-2 524	0,370	4,49
Los Ríos	1 983	-1 950	0,080	0,80
Los Lagos	-929	-4 522	-0,010	-0,29

Fuente: Elaboración de los autores.

La principal limitación está relacionada con la falta de información actualizada y desagregada para las principales actividades agrícolas y pecuarias, lo que generaría una visión limitada de los impactos económicos del cambio climático sobre el sector agrícola nacional. Otra limitación importante es que no se considera el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua de riego ya que esta información no es tá disponible, impidiendo evaluar el potencial efecto de medidas de adaptación asociadas. Por ejemplo, en el estudio de ODEPA (2010) el efecto en la reducción de agua para riego fue el más importante en los costos del cambio climático para la agricultura chilena.

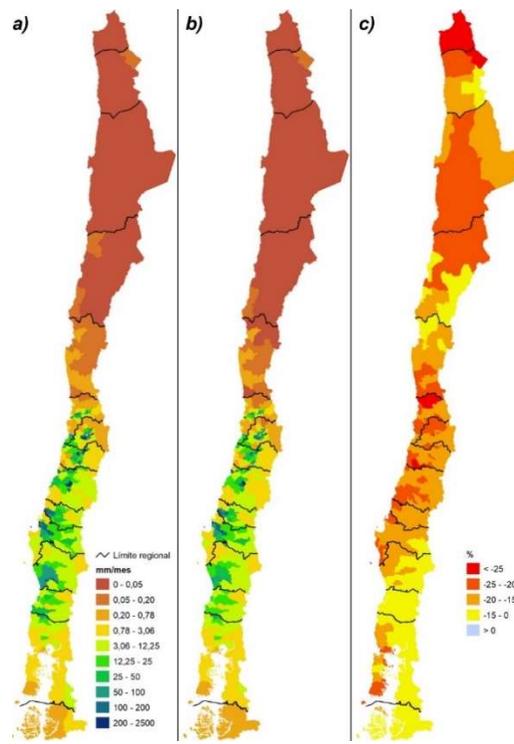
B. Agua potable en zonas urbanas

El estudio en el sector de agua potable en zonas urbanas se realizó evaluando tanto el impacto sobre la oferta de agua como el impacto sobre la demanda residencial de agua potable. Una reducción en la oferta del agua y el aumento en la demanda de agua residencial podrían causar un exceso de demanda del recurso. Este capítulo estima el costo de la inacción valorando económicamente esta diferencia entre la oferta y demanda.

Para evaluar el cambio esperado en la disponibilidad de agua se utilizó información del cambio en caudales a nivel comunal. Esta información fue extraída de la última actualización del balance hídrico nacional del DGA, el cual presenta información hasta el año 2060 (MOP, 2018, 2019). El mapa 1 presenta el cambio en caudales para el escenario histórico (panel a), futuro (panel b), y el cambio porcentual de ambos escenarios (panel c).

Por su parte, el cambio en el consumo de agua fue evaluado mediante la estimación de una demanda de agua residencial, empleando variables como precipitación y temperatura, consumo y precio del agua, y otras variables socioeconómicas y demográficas extraídas de la encuesta CASEN. Las proyecciones de las variables climáticas fueron extraídas del proyecto ARCLIM para el 2050 y CR2 para el 2100. Asimismo, se complementó el análisis con proyecciones de población con información obtenida del Instituto Nacional de Estadística, mientras que los datos de consumo y precio del agua se obtuvieron de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Mapa 1
Caudal de agua en Chile: escenario histórico, futuro y variaciones del caudal



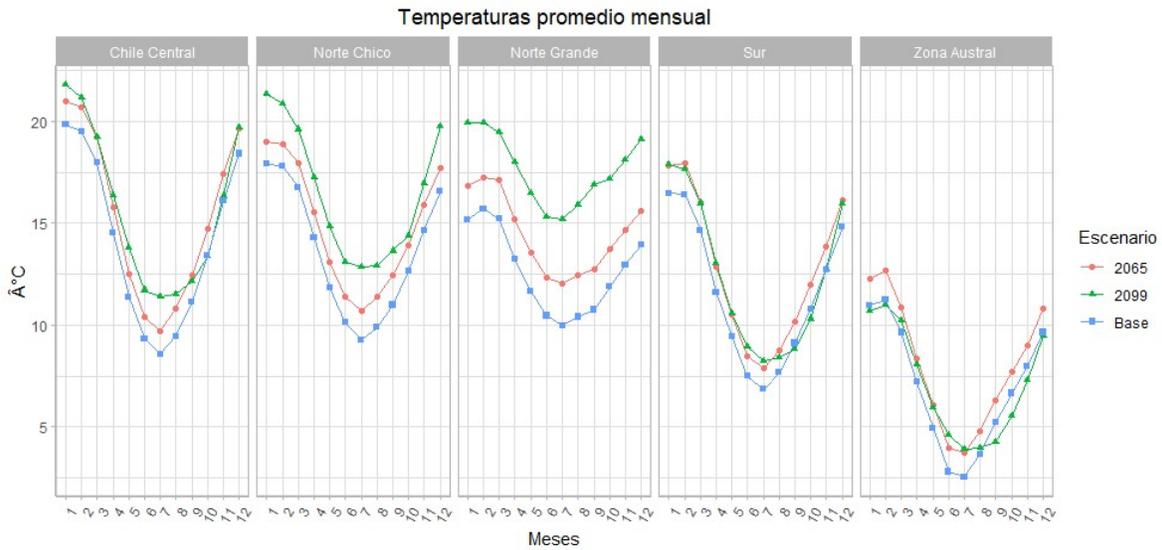
Fuente: MOP (2018, 2019).

Se utilizaron los escenarios climáticos reportados por MMA (2020) y CR2 (2020). Según estos escenarios, se espera que las temperaturas se incrementen y que las precipitaciones disminuyan en general. El gráfico 3 presenta los escenarios para los años base (2018), para el período 2035-2065 (centrado en 2050) y para el período 2070-2099 separado por macrozonas geográficas, donde la desagregación es la siguiente: Norte Grande (Arica, Antofagasta, Tarapacá), Norte Chico (Atacama, Coquimbo), Chile Central (Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Bío-Bío), Sur (Araucanía, Los Lagos, Los Ríos), y Zona Austral (Aysén y Magallanes).

Como observa en el gráfico, las temperaturas se incrementarán en los escenarios futuros, sobre todo en la zona norte y con una menor intensidad en la zona sur y central. Por otra parte, el gráfico 4 presenta las predicciones de precipitaciones donde se observa que en el período 2035-2065, las precipitaciones caen sistemáticamente mientras que para el período 2070-2099 estas se incrementan.

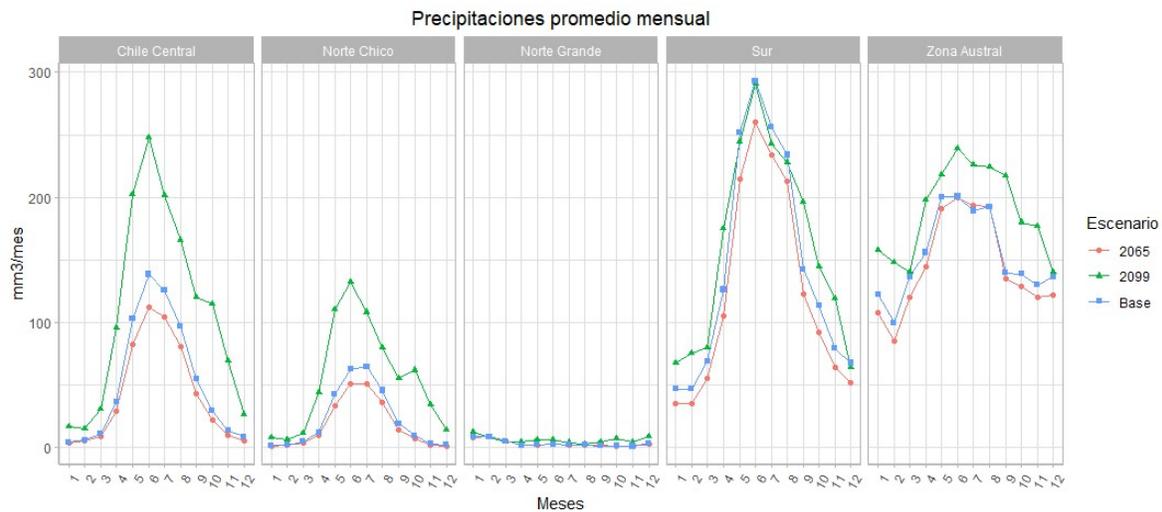
La estimación de la demanda se realiza para 163 comunas, localizadas en 14 regiones y que consideran a 3,9 millones de clientes regulados de agua residencial, equivalente a un 71% del total de clientes regulados del país. A partir de esto, el impacto económico de la inacción se determinó como el diferencial de costos para la empresa sanitaria entre la situación actual y la situación al año 2050, en un escenario con cambio climático. Este diferencial de costos está dado por la multiplicación del exceso de demanda, que captura reducción de caudal y aumento de demanda, por el valor de agua cruda (VAC), obtenido de la Superintendencia de Servicios Sanitario. Dado que no existen estimaciones de cambio en caudal para la segunda mitad del siglo, no se pudo estimar el costo para el año 2100. Se debe tener en cuenta, que dado el sistema regulatorio que hay en Chile es razonable pensar que estos costos adicionales se traspasen, al menos en parte, a los clientes. A continuación, se presentan los resultados para los cambios en demanda, posteriormente en oferta y finalmente los cambios en exceso de demanda y los costos asociados.

Gráfico 3
Temperatura actual y futura por zonas geográficas



Fuente: Elaboración de los autores.

Gráfico 4
Precipitaciones actuales y futuras por zonas geográficas



Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados muestran que el cambio climático generará un aumento de 3% en la demanda residencial de agua el 2050 (equivalente a 675 millones de m³ al año), mientras que para finales de siglo el aumento será de aproximadamente 1%. Adicionalmente, los resultados de este estudio indican que los cambios esperados en demanda no serán uniformes en todo el país. En efecto, para la Zona Norte se espera un aumento de la demanda del 4% (equivalente a 27 millones de m³ al año) tanto para mediados como finales de siglo.

Por su parte, la Zona Centro-sur presentará un aumento en la demanda del 2% (equivalente a 637 millones de m³ al año) y 1% para mediados y finales de siglo, respectivamente⁸.

Por otra parte, el cambio climático provocará una disminución del 18% en la disponibilidad de agua a nivel nacional al 2050, lo que equivale a 161 millones de m³ al año (MOP, 2018, 2019). Los cambios son similares en la Zona Norte y centro sur (aproximadamente 20%), mientras que la Zona Sur tendrá cambios significativamente menores (4% de disminución).

Al comparar las proyecciones de disponibilidad de agua y de demandas, se espera un exceso de demanda de 27% a nivel nacional, siendo las comunas de la Región Metropolitana las más afectadas. En términos agregados, el cambio climático para mediados de siglo representaría un costo equivalente a USD 229,3 millones anuales. El cuadro 5 muestra los costos desagregados por región y el porcentaje del PIB regional que representan. Se puede observar que la Región Metropolitana será la que representará los mayores costos, seguida por Tarapacá. Sin embargo, en porcentajes del PIB regional la que presenta mayor valor es la región de Arica y Parinacota con 0,27%, seguido por la región de Aysén con un 0,23%.

Sin embargo, este exceso de demanda por agua probablemente se traducirá en un aumento del valor del agua cruda. Se asume un incremento de 19% del VAC al año 2050, dado que no fue posible obtener estimaciones de elasticidad precio, con lo cual, se generaría un aumento de los costos para la empresa sanitaria equivalente a USD 70,3 millones anuales.

Este estudio es relevante para la toma de decisiones, ya que visibiliza el costo que tendría para la empresa proveedora de agua potable y eventualmente los clientes, una situación con mayor demanda y menor oferta. Sin embargo, además de no considerar un aumento en el VAC determinado por la reducción en caudales, tampoco consideró el efecto que estas alzas en tarifa podrían tener en el consumo de los clientes. Un efecto que podría reducir los excesos de demanda calculados. Otra limitación importante es la exclusión de otros sectores que compiten por el uso del agua, algo que podría traducirse en el alza del VAC. Por falta de información el estudio no consideró los efectos del cambio climático sobre el agua subterránea y asume que el cambio en caudales puede afectar la disponibilidad del recurso para las empresas sanitarias incluso cuando la fuente de abastecimiento sea el agua subterránea. Por último, el estudio sólo se centró en sistemas urbanos y no incluyó los efectos en sistemas de agua potable rural.

⁸ Análisis de las variables climáticas se hizo con la siguiente desagregación (según los datos climáticos de ARCLim y el CR2): Norte Grande (Arica, Antofagasta, Tarapacá), Norte Chico (Atacama, Coquimbo), Chile Central (Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Bío-Bío), Sur (Araucanía, Los Lagos, Los Ríos), y Zona Austral (Aysén y Magallanes). Luego, para el análisis económico, se juntaron las zonas Norte Grande y Norte Chico.

Cuadro 5
Cambios en la oferta y demanda y costos asociados a la inacción frente al cambio climático

Región	Costo (En millones de pesos)	Porcentaje PIB regional 2019
Arica y Parinacota	5 348	0,2793
Tarapacá	8 948	0,1489
Atacama	428	0,0018
Coquimbo	492	0,0092
Valparaíso	805	0,0011
Metropolitana	198,628	0,0936
O'Higgins	308	0,0003
Maule	77	0,0007
Biobío	78	0,0009
Araucanía	203	0,0010
De los Ríos	113	0,0016
Los Lagos	52	0,0015
Aysén	22,018	0,2385
Magallanes	21	0,0013

Fuente: Elaboración de los autores.

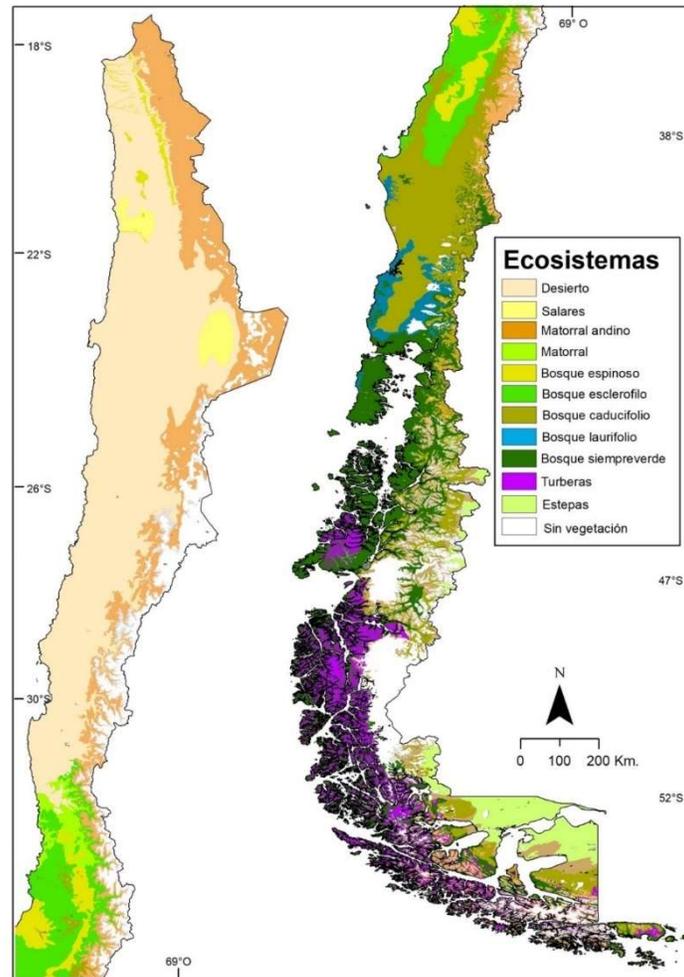
C. Biodiversidad y turismo de áreas protegidas

La estimación de los costos de inacción frente al cambio climático en los sectores de Biodiversidad y turismo en áreas protegidas consta de dos etapas. La primera estima un modelo que relaciona el clima actual con la distribución de especies de flora y fauna. A partir de este modelo inicial, se proyectan los cambios en la distribución futura de las especies empleando proyecciones del clima realizadas por el proyecto ARCLIM bajo el escenario RCP 8.5 hasta 2050. Este cambio en distribución de las especies se usa como proxy del cambio en la superficie de distintas formaciones vegetales (ecosistemas). La segunda etapa toma estos cambios y los valora económicamente a partir de los servicios ecosistémicos que ellos generan. Los servicios ecosistémicos se dividen entre aquellos asociados a la conservación de la biodiversidad en las formaciones vegetales y aquellos que se relacionan con el turismo en las áreas del SNASPE.

Debido a los altos costos de implementación de las metodologías de valoración de preferencias reveladas o declaradas, tales como el tiempo requerido o los aspectos administrativos, este trabajo utiliza el método de *transferencia de beneficios*, que consiste en tomar valores económicos consignados en una o más investigaciones que estimen el valor económico asociado a biodiversidad y aplicarlos al caso en estudio, ajustando los valores según la moneda y diferencias en ingresos. Por ejemplo, asociado al ecosistema bosques se sistematizaron todos los trabajos de valoración económica encontrados en la literatura para luego ser adaptados a los propósitos particulares del estudio.

Para evaluar el impacto del cambio climático en los ecosistemas de Chile, se seleccionó un conjunto de especies de flora y fauna representativas de los principales ecosistemas presentes en Chile Continental. Se seleccionó en el caso de la flora, las especies que dan el nombre a los pisos de vegetación (Luebert & Pliscoff, 2017) presentes en cada ecosistema, y en el caso de la fauna, las especies con mayor número de presencias. A partir de estos dos criterios se seleccionaron 10 especies por ecosistema. Los ecosistemas se definieron a partir de la clasificación de formaciones vegetacionales de Chile (Luebert & Pliscoff, 2017) (véase el mapa 2).

Mapa 2
Distribución espacial de las formaciones vegetacionales utilizadas como ecosistemas para la modelación de los impactos del cambio climático



Fuente: Elaboración de los autores en base a Luebert & Plissock (2017).

Los resultados de la modelación actual y futura de la distribución de especies de flora y fauna muestran que todos los ecosistemas incluidos en este trabajo registrarán una reducción de superficie a nivel nacional, exceptuando el bosque espinoso que no presenta cambios.

Además, se prevé que los ecosistemas más afectados serán el bosque siempreverde, con una pérdida de 17.64% de la superficie nacional actual, seguido por las turberas, con una reducción cercana al 11.8% de su superficie nacional actual.

Los resultados indican que los ecosistemas más afectados dentro del territorio del SNASPE son, en primer lugar, los humedales de tipo salar, con una reducción del 33.5% de la superficie actual. En segundo lugar, se encuentran los Bosques Esclerófilos, seguido por las Estepas, con pérdidas del 21.43% y 12.17% de la superficie actual, respectivamente. Por lo tanto, se prevé que las actividades turísticas que se realizan en estos ecosistemas serán la más afectadas en el período 2050.

Los resultados de la valoración económica total para el periodo actual en el sector biodiversidad alcanzan los USD 17.599 millones, de los cuales USD 2.908 millones corresponden al valor de uso directo y USD 14.691 millones al valor de uso indirecto. El valor de uso indirecto está principalmente asociado a

los servicios ecosistémicos de regulación climática y calidad del aire. Por otra parte, se prevé que nueve de los diez ecosistemas evaluados presenten una disminución en su superficie total a nivel nacional al año 2050, por lo que esta reducción genera costos de USD 1.300 millones anuales. Estos costos de la inacción frente al cambio climático equivalen a un 0,46% respecto del PIB nacional del año 2019.

En el gráfico 6 se presenta el costo de la inacción para distintos ecosistemas y como proporción del presupuesto de CONAF para el año 2020. Se puede observar que la pérdida de servicios ecosistémicos para los bosques puede representar, en términos económicos, hasta un 504% del presupuesto del CONAF, mientras que la reducción de humedales puede representar hasta un 102%. Esta comparación es importante, ya que a pesar de que representa un porcentaje muy pequeño del PIB, puede llegar a representar una cantidad de dinero significativa para el sector de áreas protegidas.

Cuadro 6
Cambio en la superficie de los ecosistemas, valor por hectárea y valor total

Ecosistema	Costo (En millones de pesos)	Porcentaje presupuesto CONAF 2020
Bosques en general	526 074	504
Bosque Laurifolio	3 105	2,98
Bosque Caducifolio	49 502	47,4
Bosque Siempreverde	196 125	187
Bosque Esclerófilo	7 320	7,02
Humedales en general	106 801	102
Salar	7 677	7,36
Turbera	1 757	1,68
Matorral	64 573	61,8
Estepas	5 331	5,11

Fuente: Elaboración de los autores.

La reducción de ecosistemas dentro del SNASPE al 2050, principalmente de formaciones como Salares, Bosque esclerófilo y Estepas, generaría una disminución del valor económico total de los servicios ecosistémicos asociados al turismo, equivalente a USD 340 millones.

Dado que no existen en la literatura valores disponibles para todos los servicios ecosistémicos asociados a los ecosistemas valorados en este estudio, el valor calculado representa solo una fracción del verdadero valor del impacto del cambio climático en el turismo de naturaleza. Esto da cuenta de la existencia de una brecha de información para valorar servicios ecosistémicos asociados a biodiversidad y turismo.

D. Energía

Los costos económicos de la inacción ante el cambio climático del sector energía, se evaluaron analizando los impactos de cambios en precipitaciones y temperatura en los costos del sistema eléctrico nacional. El análisis tomó una representación de la generación y transmisión del sistema eléctrico de potencia al año 2050, en el que se tiene como supuesto que el operador suple de forma centralizada la demanda eléctrica de forma costo-eficiente.

La metodología analiza la operación del sistema eléctrico en el año 2050, considerando la infraestructura del escenario B de la Planificación Energética a Largo Plazo del año 2019 (Ministerio de

Energía, 2019)⁹. Específicamente, el estudio analiza de manera independiente dos posibles amenazas a la red eléctrica: la variación en la disponibilidad del recurso hídrico y el aumento en las temperaturas, las cuales tienen efectos directos sobre la generación y transmisión de la energía, respectivamente. Estas amenazas corresponden a los factores con mayores efectos sobre los costos del sistema identificados en el estudio ARCLIM.

La información de variación en la temperatura se obtuvo de las proyecciones del CR2, las cuales consideran información del periodo 2006-2100. En el caso de la variación del recurso hídrico se tomó información del Centro de Cambio Global, la cual considera información en el periodo 1980-2060. Ambas proyecciones se realizaron bajo el escenario RCP 8.5, y en el caso de la disponibilidad del recurso hídrico, se extrapola mediante una regresión lineal simple, de manera mensual, para completar la proyección hasta finales de siglo.

El sistema eléctrico fue modelado y representado matemáticamente bajo la minimización de los costos operacionales en un horizonte determinado. El sistema eléctrico utilizado está basado en una representación georreferenciada del sistema nacional, considerando 287 subestaciones, 414 líneas de transmisión y 443 unidades generadoras. Adicionalmente, el estudio consideró escenarios alternativos, a modo de sensibilización de los resultados, en los que se aumenta la incorporación de tecnologías de generación distribuida, electromovilidad y almacenamiento.

Los costos de operación bajo los escenarios climáticos se evalúan cada 10 años para cuatro semanas representativas y se comparan con los costos bajo el clima de 2020. Los costos de operación semanales se extrapolan a nivel anual y el costo de la inacción en cada década viene dado por las diferencias entre estos costos de operación anual.

Los resultados obtenidos muestran que el costo de inacción frente al cambio climático en el sector de energía es aproximadamente USD 51 y 98 millones anuales al 2050 y 2100, respectivamente. Este costo se genera principalmente por la inacción ante la variación del recurso hídrico, representando aproximadamente USD 46 y USD 85 millones anuales al 2050 y 2100, respectivamente.

Mientras que el efecto de la inacción ante la variación del efecto de la temperatura tiene un costo de USD 4 y 13 millones anuales al 2050 y 2100, respectivamente.

A partir de estos resultados, es evidente que el costo de inacción es mucho más importante frente a los cambios en la disponibilidad hídrica para generación de energía hidroeléctrica. Estos cambios representan una disminución del 14% en la generación de energía hidroeléctrica y un aumento del 21,6% en los costos de operación del sistema debido a la sustitución a generación con gas al 2100. Por su parte, el efecto de las variaciones en la temperatura en la transmisión genera un aumento en los costos del 3,4% al 2100, lo cual se debe a la disminución del uso de energías renovables producto de una reducción en la capacidad de transmisión de energía desde la Zona Norte del país. Asimismo, es importante mencionar que los costos de inacción varían dependiendo del escenario evaluado. Los resultados mencionados anteriormente y representados en el cuadro 7 corresponden al escenario base. En el caso del escenario de electromovilidad se obtienen menores costos, los cuales corresponden a USD 41 y 74 millones para 2050 y 2100, respectivamente. En el caso del escenario de generación distribuida se observa que los gastos aumentan tanto para mediados como finales de siglo, ascendiendo aproximadamente a USD 65 y 112 millones para 2050 y 2100, respectivamente.

⁹ El escenario B corresponde a una disposición social para proyectos libre, una demanda energética alta, un cambio tecnológico en almacenamiento en baterías bajo, costos de externalidades ambientales altos, costos de inversión en tecnologías renovable bajos, precios de combustibles fósiles altos. Este escenario fue elegido por presentar una alta demanda compatible con mayor climatización y electromovilidad.

En el cuadro 7 se puede observar el monto en pesos del costo de la inacción frente al cambio climático en el sector eléctrico. A pesar de que este monto puede representar un bajo porcentaje en el aumento de generación o de costo de la energía, si se compara con el PIB sectorial se observa que puede llegar a tomar un valor elevado. Para fines de siglo los costos podrían ascender hasta un 1,27% del PIB sectorial, mientras que para mediados de siglo esta cifra corresponde al 0,66%.

Cuadro 7
Costo de la inacción frente al cambio climático para el sector de generación de energía eléctrica y comparación con el PIB sectorial

Año	Costo (En millones de pesos)	Porcentaje PIB nacional 2019	Porcentaje PIB sectorial (electricidad, gas, agua y gestión de desechos) 2019
2050	46 321	0,016	0,80
2100	85 014	0,030	1,27

Fuente: Elaboración de los autores.

La magnitud del efecto en parte se explica por la naturaleza adaptativa de sistema, que busca minimizar los costos totales y porque la proyección del parque generador considera un aumento sustancial del uso de energías renovables no convencionales como solar y eólica, lo que hace disminuir los costos del sistema en el largo plazo. Sin embargo, también responden a supuestos respecto de la operación e infraestructura disponible en el sistema futuro, específicamente en la capacidad de transmisión entre la Zona Central y Norte del país.

Las principales limitantes del estudio fue no contar con una proyección de la hidrología al 2100 para el escenario RCP8.5 y no contemplar en forma explícita el efecto en la demanda eléctrica de los aumentos de los costos simulados. Adicionalmente, el estudio no considera la posible sustitución con otras fuentes de energía (no eléctrica) pero si sensibiliza los resultados respecto de la penetración de nuevas tecnologías como almacenamiento, generación distribuida y electromovilidad que provocan mayores costos operacionales.

E. Minería

Evaluar el impacto económico del cambio climático en el sector minero de Chile es relevante dada su participación en la economía y su actual dependencia del clima. La minería es un sector clave en la economía chilena, su actividad representó un 9,4% del PIB nacional y 55,2% de las exportaciones en el año 2019 (COCHILCO, 2020). Esta evaluación se realizó sobre la minería del cobre, por ser representativa de la minería nacional, proyectando la actividad del sector hasta el año 2100 bajo tres escenarios. El primero, sin cambio climático (escenario 1, Business As Usual, BAU), en que se supone que existe a futuro la misma cantidad de agua continental disponible que en 2019. El segundo escenario en cambio, considera que el cambio climático generará un déficit de agua en todas las cuencas en que opera la minería del cobre. Debido a que se consideró que no hay información robusta respecto a la dimensión que tendrá este déficit, este escenario consideró la situación extrema que pone fin al uso minero de aguas continentales en 2035, con una reducción lineal desde 2025 a partir de la disponibilidad actual de agua, y reemplazándola por agua de mar. El tercer escenario cuenta con las mismas restricciones en la disponibilidad de agua continental y los efectos del cambio climático, pero toma en cuenta una restricción adicional, la existencia de alto reciclaje y la economía circular.

Los tres escenarios consideran una demanda de cobre global basada en las proyecciones de crecimiento económico y de población del escenario RCP8.5 elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Adicionalmente a la producción de cobre, para cada escenario, se estima el agua continental y de mar utilizada, el PIB, el empleo, las exportaciones, la inversión, y los impuestos pagados por la industria.

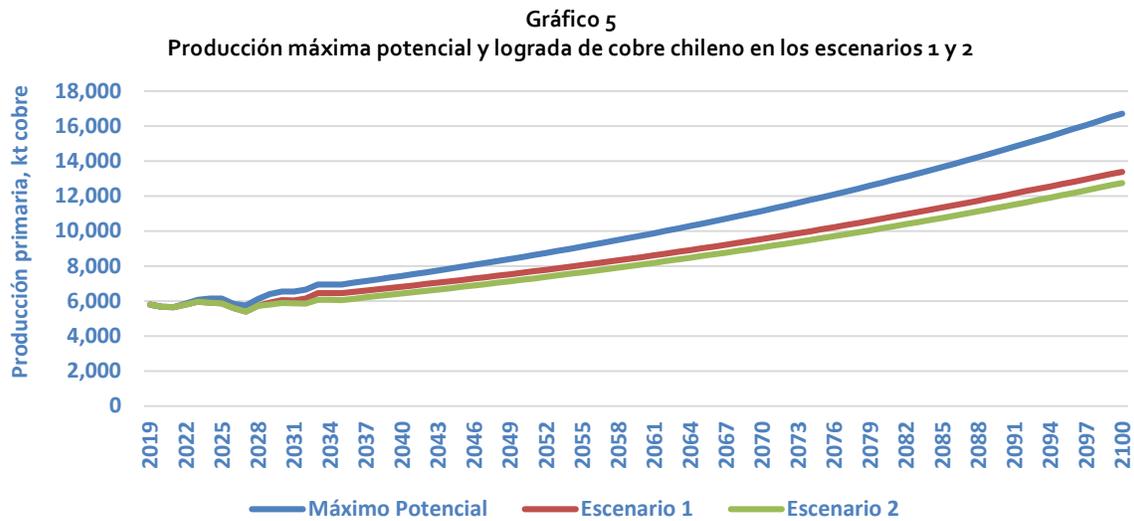
Dada la relevancia de la producción chilena de cobre en el mercado mundial, para proyectarla se emplearon variables como la demanda, la disponibilidad de recursos, la producción primaria y secundaria (cobre reciclado), la competitividad (costos detallados) de cada una de las minas de cobre del mundo, el posicionamiento de las minas chilenas en este ranking, y el precio del cobre. La demanda global de cobre refinado se calculó a partir de una regresión lineal entre la demanda del cobre y el PIB per cápita mundial, considerando datos entre 1960-2019 y la proyección mundial del PIB per cápita bajo el escenario RCP8.5 hasta 2100. La oferta secundaria global de cobre fue estimada en base a las proporciones históricas en el primer y segundo escenario, y con un aumento relevante del reciclaje y economía circular a partir de 2050 en el tercer escenario, lo que permitió estimar la oferta global de cobre para ambos escenarios. Por su parte, la producción chilena máxima de cobre fue estimada mina a mina en forma individual hasta 2035, y de 2036 a 2100 fue estimada usando una proporción de la producción chilena respecto a la oferta global de cobre. En el caso de la competitividad, se supuso que esta se mantenía igual que al año 2019 para todo el periodo analizado. Para la proyección de producción de fundición y refinería se utilizó la estimación de la consultora Incomare (2020) para el periodo 2020-2027, en la que el valor para 2027 se mantuvo constante hasta 2100. Se supone que el precio de largo plazo es 300 c/lb, en moneda constante de 2019.

El modelo de evaluación se realizó con 41 minas chilenas entre operaciones (minas activas) y nuevos proyectos (minas en desarrollo o estudio). De las 41 minas, 6 agrupan pequeña minería. Se supuso que algunas de estas minas no llegarán a producir en 2100, pero que serán reemplazadas por minas de similar tamaño y características que las originales.

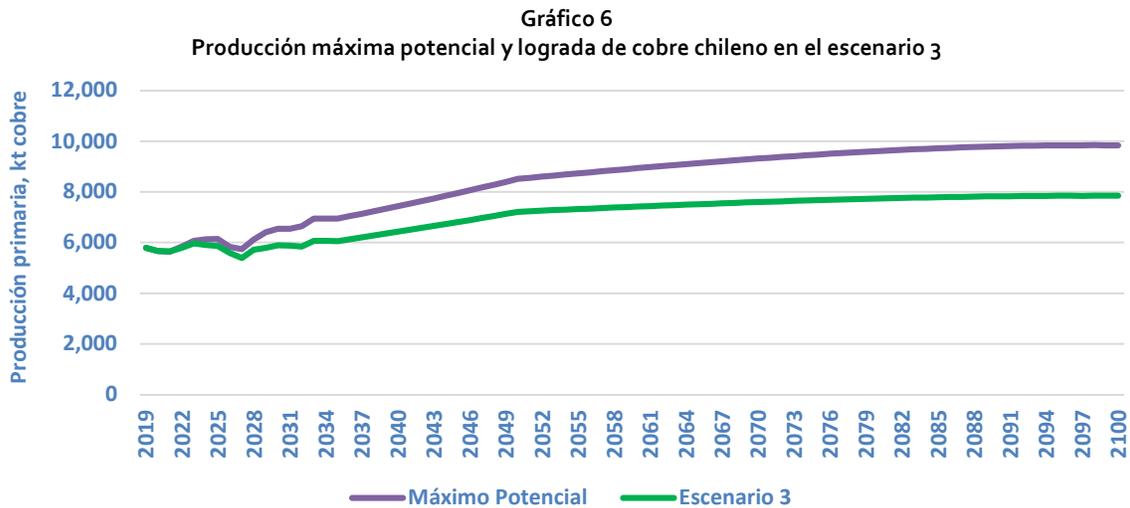
Para el periodo 2019 a 2035, se proyectó el crecimiento de la minería chilena en forma detallada para cada mina, llegando a una producción 6,95 millones de toneladas en 2035. Para el periodo 2036 a 2100 en cambio, la proyección de producción del país se basa en el crecimiento de la producción mundial de cobre refinado de mina. Esta proyección considera los dos casos con (tercer escenario) y sin (primer y segundo escenario) la presencia de economía circular. Adicionalmente, este trabajo utiliza el supuesto que Chile mantiene su participación en la producción mundial (29%) desde 2035 a 2100. Estos escenarios parten de la base que Chile tendrá reservas en 2100 que permiten el crecimiento de la producción de cobre.

De esta forma, si todos los proyectos considerados entre 2035 y 2100 tienen una rentabilidad adecuada, a pesar que muchos de ellos requerirán agua de mar desalada, entonces la producción de Chile llegaría a un máximo potencial de 16,7 millones de toneladas en el primer y segundo escenario, y a 9,8 millones de toneladas en el tercer escenario, al año 2100. Si algunos proyectos no cumplen con la condición de rentabilidad, la producción del país en 2100 sería menor. La condición de rentabilidad consiste en exigir una razón entre utilidades antes de impuesto y ventas igual o superior a un 30%. Se opta por este valor a partir del análisis de una muestra importante de las grandes mineras mundiales de la base de datos de Wood Mackenzie, sensibilizándolo durante la aplicación del modelo al primer y tercer escenario. Las utilidades se calculan en base a la producción y costos que incluyen el costo de desalación. De esta manera, los costos adicionales que significa la desalación implican: una reducción en rentabilidad, que menos minas entren en operación y una menor producción e ingresos netos de la actividad.

Para los tres escenarios, 12 de las 36 minas con operación planificada hasta 2100, logran alcanzar la producción potencial planificada, mientras el resto de las minas no lograron la rentabilidad necesaria para llevar a cabo todas las expansiones que podrían haber hecho. Esto resulta en que la producción para el año 2100 en el primer escenario alcanza los 13,38 millones de toneladas de cobre, en el segundo escenario alcanza los 12,74 millones de toneladas (gráfico 5) y en el tercer escenario alcanza 7,84 millones, por efecto de la economía circular (gráfico 6). Esto indica que la producción de cobre del país en el primer y segundo escenario entre 2019 y 2100 crece a una tasa anual promedio de 1,04% y 0,98%, respectivamente, mientras que en el tercer escenario lo hace a una tasa de 0,38%.



Fuente: Elaboración de los autores.



Fuente: Elaboración de los autores.

La diferencia en producción de cobre entre el primer y segundo escenario es de 401 mil toneladas para 2050 y de 639 mil toneladas de cobre en 2100. Esto conlleva una reducción en el PIB bajo el segundo escenario equivalente a un 4,8% y un 5,3% respecto del primer escenario para 2050 y 2100, respectivamente. Asimismo, en el cuadro 8 se puede observar que el costo de la inacción frente al cambio climático puede llegar a representar cerca del 6,9% del PIB sectorial de 2019 para mediados de siglo y cerca del 10,9% del mismo, para fines de siglo.

Cuadro 8
Costos de la inacción frente al cambio climático en minería

Año	Costo (En millones de pesos)	Porcentaje PIB nacional 2019	Porcentaje PIB sectorial 2019
2050	1 225 645	0,58	6,9
2100	1 953 883	0,93	10,9

Fuente: Elaboración de los autores.

La diferencia en la producción de cobre entre el primer y segundo escenario se explica por la pérdida de derechos de agua. Esta reducción en la producción es el efecto máximo estimado que tendría el cambio climático sobre el sector minero, específicamente en la explotación del cobre, en cuanto a su capacidad de adaptación a la reducción de agua continental. Es decir, el máximo impacto impone un efecto moderado en la producción o, en otras palabras, de acuerdo a los supuestos de este estudio, un segmento alto de la minería del cobre mantendría su resiliencia para enfrentar condiciones aún más severas de cambio climático.

Por su parte, el tercer escenario, que incorpora sustitución del cobre de mina mediante el cobre secundario y economía circular a partir del año 2050 tiene una producción significativamente menor que los otros dos escenarios. La producción proyectada es de 7,84 millones de toneladas en comparación a los 9,8 millones de toneladas de producción máxima que se calcularon para este escenario, esto corresponde a un cambio del 0.2% del PIB en comparación al primer escenario, tanto para mediados como fines de siglo. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que el tercer escenario no es directamente comparable con el primer y segundo escenario, ya que toma en cuenta tanto la economía circular como el cambio climático, por lo que no se le puede atribuir directamente a ninguno de los dos factores los cambios en la producción a largo plazo.

Una limitación del modelo desarrollado es que no considera el potencial máximo de desarrollo de la minería del cobre chilena, ya que tiene la restricción de una producción máxima dada por la participación en el mercado global. Al sensibilizar los resultados se encontró que existen numerosas minas que pueden expandirse más allá de la producción máxima, hasta un 2%, por la alta rentabilidad de sus operaciones. Otra limitación importante del estudio es suponer un precio constante para el cobre, lo que es especialmente relevante para el tercer escenario, dado los efectos que podría tener la economía circular en la demanda de cobre primario.

Entre las principales fortalezas del modelo, se puede mencionar que se utilizó información de costos detallados por mina al año 2019 y se hace una proyección de reservas. Esto último, es información que no ha sido reportada en la literatura. Asimismo, se consideran otras variables fundamentales que influyen la oferta, rentabilidad, inversión, PIB, empleo y exportaciones, a partir de las cuales se estima la recaudación fiscal.

F. Pesca y acuicultura

Los costos de inacción en el Sector de Pesca y Acuicultura se estimaron analizando por separado cuatro componentes: pesca artesanal, acuicultura de mitílicos, pesca industrial del Jurel y la acuicultura de Salmones; utilizando como base información generada por estudios previos para ejemplificar diferentes metodologías para la evaluación de los impactos económicos en estos sectores.

1. La pesca artesanal y los impactos asociados a cambios en las posibilidades de acceso a recursos

El análisis de impacto en la pesca artesanal se basó en los efectos económicos del cambio climático producto de cambios en el régimen de oleaje. Las proyecciones climáticas para el cálculo de cambios en el régimen de oleaje se realizaron para mediados (2026-2045) y finales de siglo (2081-2100), a partir de información del proyecto Coupled Modeling InterComparison Project 5 (CMIP5) y bajo el escenario RCP 8.5.

A partir de las proyecciones de los regímenes de olas se estimó el downtime, el cual corresponde a la cantidad de horas en un año que el oleaje no permite realizar actividades pesqueras. El valor del downtime está relacionado al umbral de operación de cada caleta. Los efectos del downtime se estimaron a nivel de caleta pesquera artesanal para el área comprendida entre Arica (18°S) y Purranque (41°S). Adicionalmente, para calcular el costo asociado al downtime se analizaron dos escenarios alternativos de jornadas laborales en el sector de pesca artesanal.

El valor económico asociado al downtime se estimó por medio del método de costos evitados/inducidos. A partir del aumento del downtime se calcularon las toneladas perdidas para cada localidad en una jornada laboral, con el fin de obtener un valor anual de pérdida en la masa total de captura. Por último, se estimó el valor del costo asociando la pérdida de toneladas del recurso con el precio playa de cada recurso.

Las proyecciones para mediados de siglo muestran que el downtime varía en función del umbral de operación y la latitud. El umbral de operación¹⁰ de 1,5 m es el que presenta mayor aumento en horas de inoperatividad, alcanzando el valor más alto en Taltal (25°S) con valores que ascienden hasta las 300 horas anuales. Por su parte, para el umbral 2m, se observa que los mayores valores se encuentran entre Huasco (28°S) y Navidad (34°S), en donde se espera un aumento en el downtime que supera las 100 horas anuales.

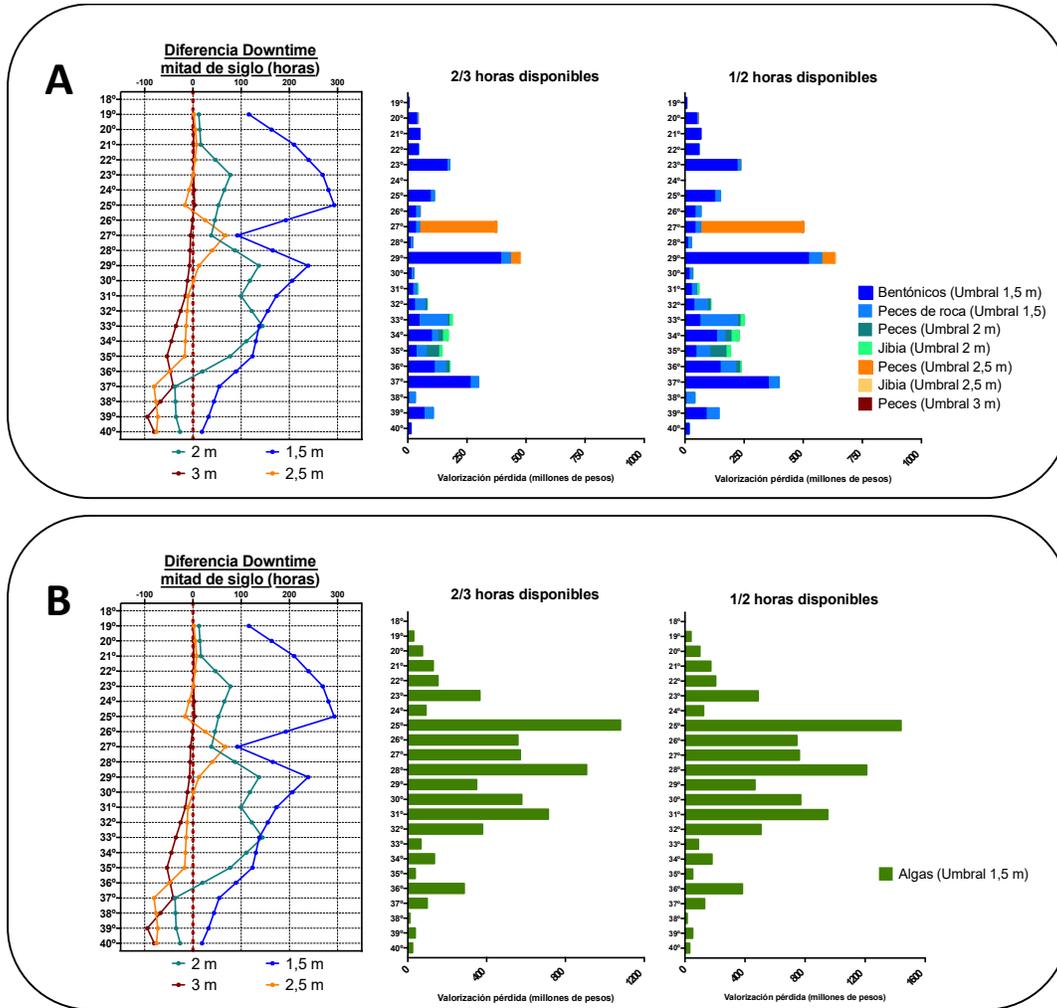
Los resultados para fines de siglo muestran que solamente en el umbral 1,5m hay un aumento en el downtime, teniendo efecto entre Chañaral (26°S) y Coquimbo (30°S). Para el resto de zonas se espera que haya una disminución en el downtime operacional, lo cual implicaría mayor cantidad de horas disponibles para realizar actividades de pesca. Sin embargo, las caletas que presentaron disminución en el downtime no se tomaron en cuenta para el cálculo del costo, ya que mayor cantidad de horas no supone mayor actividad pesquera.

En cuanto a la valoración económica, los resultados muestran que para mediados de siglo la disminución en las horas de operatividad representa un costo de USD 16,65 millones anuales (véase el gráfico 7), mientras que para fines de siglo habrá una menor disminución en las horas de operatividad, con pérdidas esperadas de USD 3,05 millones anuales (véase el gráfico 8).

Es importante mencionar que el método solamente captura costos asociados al acceso a recursos y no al costo general del cambio climático en el sector pesquero artesanal. Este tipo de análisis permite mirar en detalle el efecto del cambio en regímenes de oleaje, pero deja fuera otras dimensiones del cambio climático que pueden tener efectos económicos en el sector (por ej. cambios en stock y distribución de especies). Tampoco se integraron cambios en el comportamiento de los pescadores ante los posibles cambios en el *downtime*.

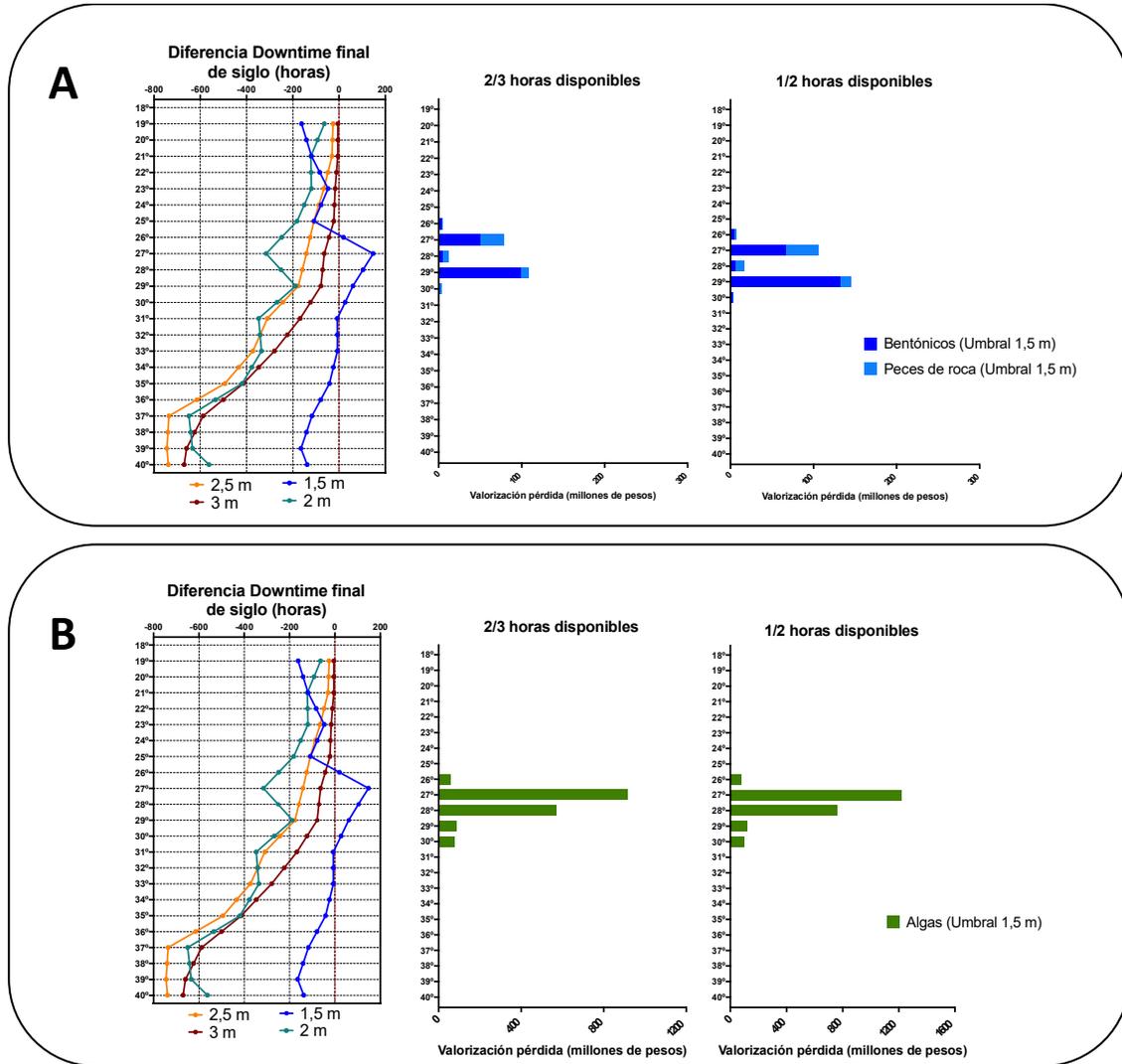
¹⁰ Umbral de operación: criterio de cierre de operaciones utilizado cuando la altura significativa del oleaje excede un cierto umbral (en metros).

Gráfico 7
Valorización de la pérdida producto del cambio del downtime
en las distintas latitudes para mitad de siglo (2026-2045) en los distintos escenarios de horas efectivas
para los recursos bentónicos, peces de rocas, jibias y peces (arriba), y para las algas (abajo)
(En millones de pesos chilenos)



Fuente: Elaboración de los autores.

Gráfico 8
Valorización de la pérdida producto del cambio del downtime en las distintas latitudes para final de siglo (2081-2100) en los distintos escenarios de horas efectivas para los recursos bentónicos, peces de rocas, jibias y peces (arriba), y para las algas (abajo)
(En millones de pesos chilenos)



Fuente: Elaboración de los autores.

2. La acuicultura de mitílicos y los impactos asociados a atributos de mercado del recurso

Se evaluaron los efectos de la acidificación del océano sobre atributos comerciales de mitílicos y cómo estos podrían impactar las preferencias de los consumidores. Al evaluar los cambios en las preferencias de los consumidores se puede realizar una aproximación a la valoración económica de los costos de la inacción del cambio climático sobre este sector de la industria de pesca y acuicultura.

Basados en los estudios de San Martín *et al.* (2019) y Ponce *et al.* (2019), los cuales aplicaron una encuesta de experimentos de elección, en las ciudades de Santiago y Concepción en el año 2016 sobre una muestra aleatoria de 1.278 entrevistados, para estimar la disposición a pagar por evitar cambios en los atributos de los mitílicos debido a la acidificación oceánica bajo el escenario RCP 8.5 al año 2100. Cada encuesta presentaba 6 conjuntos de elección con tres alternativas que incluían la combinación de diferentes niveles de los atributos de apariencia de los mitílicos con y sin acidificación, por lo que en total se obtuvieron 23.004 observaciones útiles para el ejercicio de valoración.

A partir de los datos de las encuestas, mediante modelos de regresión se calculó el nivel de utilidad de cada individuo entrevistado, asumiendo que cada individuo seleccionó la opción que le generase mayor utilidad. Para calcular el bienestar asociado a las diversas alternativas se utilizaron los coeficientes de las regresiones con el fin de determinar la disposición a pagar por cada tipo de mitílido, lo que permite determinar el valor de cada uno de los atributos en función del bienestar que genera a cada individuo.

Se estimó la máxima disposición a pagar y la disposición media de pago para mejorar cada uno de los atributos. A partir de esta información se calcularon las pérdidas asociadas a disminuciones en la disposición a pagar por mitílicos por parte de los consumidores.

Los resultados indican que los consumidores están dispuestos a pagar USD 3,78 para evitar un cambio negativo en el color de la concha de los mitílicos. La máxima disponibilidad a pagar disminuye en un 57,7%, ya que los consumidores están dispuestos a pagar USD 10,04 dólares por un producto no acidificado, mientras que solamente están dispuestos a pagar USD 5,57 por un producto con efectos de acidificación. Esto indica que la variación en los atributos de los mejillones podría tener serias implicaciones para la industria del cultivo de mitílicos en un escenario con cambio climático.

Por otra parte, la disposición media a pagar por evitar un cambio negativo en las características nutricionales es de USD 1,39 por cada 250 g de mejillones. La disposición máxima de pago disminuye en un 16,6%, ya que los consumidores están dispuestos a pagar USD 5,75 por un producto no acidificado contra una disposición de pago de USD 4,79 por un producto acidificado.

En general, los efectos de la acidificación sobre los atributos comerciales de los mejillones reducen la máxima disposición de pago de los consumidores en un 52%, cambiando el valor de USD 10,04 a USD 4,79. De manera agregada, tomando valores de exportación del año 2019 y la pérdida asociada a la disposición a pagar, los costos asociados a la inacción frente al cambio climático podrían representar USD 107 millones anuales, solamente asociado a cambios en los atributos de mercado.

Estos resultados muestran que cualquier variación en los atributos de los mejillones debido a la acidificación oceánica tendrán repercusiones en la industria y afectará a la economía local y al bienestar del consumidor. Esta información es relevante para la cuantificación y planificación de estrategias de adaptación de la industria.

Una de las limitantes de este estudio es que no considera la posible adaptación de los consumidores a las características del mejillón. También es importante mencionar que los resultados de este estudio se centran en las preferencias de los consumidores en Chile y no en los del mercado de destino de las exportaciones del país.

3. La pesca industrial del jurel y los impactos asociados a cambios de comportamiento de agentes económicos

El impacto económico por la inacción frente al cambio climático en la pesca industrial de Chile se evaluó utilizando como insumo datos de la pesquería del Jurel en la Región del Bío-Bío. En particular, se evaluó el cambio del comportamiento de los pescadores frente a cambios en stocks asociados al fenómeno de *El Niño*, especialmente porque se espera que haya una mayor frecuencia de eventos de este fenómeno debido al aumento de temperaturas en la superficie del mar a causa del cambio climático.

Se utilizaron tres estudios como base para la modelación; Cai *et al.* (2014 y 2018) que relacionan el cambio climático con el aumento de frecuencia de eventos de *El niño* asociados a escenarios RCP 8.5. y Peña-Torres *et al.* (2017) que evalúan el efecto de *El niño* sobre la flota pesquera. A partir de esta información, el estudio evalúa si las embarcaciones enfrentan mayores costos económicos ante eventos medioambientales extremos. Bajo esta aproximación se modelan las decisiones de zarpe y de localización de la flota, bajo el supuesto de que las naves que deciden salir a pescar deben incurrir en mayores costos debido a los eventos climáticos. Por otra parte, las embarcaciones que deciden no salir, generan una pérdida económica por no captura. De tal manera, en ambos casos el beneficio neto esperado es menor.

El cálculo del impacto económico empleó la metodología de Peña-Torres *et al.*, (2017), la cual modela el problema de decisión de los propietarios de las embarcaciones para maximizar el beneficio esperado por viaje. En primer lugar, las embarcaciones deciden zarpar (si/no), condicional a esto, deciden el área de pesca que visitarán, lo que está condicionado por variables de temperatura. Como parte del modelo descrito por Peña-Torres *et al.*, (2017) se incluyó una serie de variables de las embarcaciones (área seleccionada de pesca, biomasa del recurso, factores temporales, capacidad de embarcación y años de la embarcación, obtenidas del IFOP). Adicional a estas variables se utilizó el cambio de regímenes regulatorios, obtenido en SUBPESCA, y los datos de precios de producto e insumos fueron obtenidos del Banco Central de Chile y la Comisión Chilena de Energía. Por otra parte, la información relacionada a los eventos de El Niño fue obtenida de NOAA y de modelos de riesgos climáticos.

Finalmente, los cálculos del impacto económico se realizaron utilizando los datos de cambio de frecuencia de El Niño, obtenidos de Cai *et al.* (2018) en donde, la frecuencia de El Niño aumenta entre 30% y 100%.

Los resultados muestran que el Jurel tiende a alejarse de la costa en busca de temperaturas más bajas, por lo que, con los cambios en la frecuencia del fenómeno de *El niño*, habrá un efecto sobre las decisiones de viaje y disminución de beneficios netos asociados a las embarcaciones. Utilizando los precios actuales (valores actualizados usando la inflación de Estados Unidos), los valores fluctúan entre USD 115 y 426 millones en una década, para los escenarios con un aumento de frecuencia de El Niño de un 30% y 100%, respectivamente. El costo anual de El Niño sería de USD 11.5 a 42.6 millones. No obstante, se debe tener en cuenta que las proyecciones de cambio en eventos de El Niño responden a periodos temporales mayores a un año, por lo que este costo anual es solo referencial. Es importante mencionar que el valor calculado considera exclusivamente el impacto económico asociado al incremento de frecuencia del fenómeno de El Niño. Sin embargo, existen otras variables que pueden tener un efecto sobre la industria de pesca industrial, como stocks pesqueros y mortalidades, las cuales podrían agregarse a la modelación de este estudio y complementar los resultados.

Ya que el objetivo era ejemplificar el efecto del cambio climático sobre la pesca industrial, el valor calculado representa una parte del impacto sobre el sector de pesca industrial. Este estudio puede ser extendido a las pesquerías de otros recursos; sin embargo, la extensión de este análisis requiere detallar cómo el cambio climático o evento de El Niño afectará a otros tipos de recursos, lo que actualmente no está disponible en la literatura.

4. La acuicultura de salmones e impactos basados en la pérdida de productividad

En el caso de la acuicultura de salmones no fue posible proyectar los efectos esperados del cambio climático por no existir antecedentes que permitan este análisis. No obstante lo anterior, se presenta un análisis sobre la relación entre la ocurrencia de eventos de floraciones de algas nocivas (FAN), su efecto en la biomasa de peces y las potenciales pérdidas para la industria.

La información sobre los efectos del cambio climático en las variables ambientales de interés y la ocurrencia de eventos FAN se obtuvo de datos reportados por el proyecto ARCLIM. Dentro de este proyecto se reporta información sobre la biomasa en 69 barrios salmoneros, o concesiones para salmónidos (ACS), de la Zona Sur de Chile durante el periodo 2017-2018. Para cada ACS se cuenta con estimaciones de la probabilidad de ocurrencia de eventos FAN.

Para el cálculo de los costos se relacionó el riesgo de la pérdida de biomasa por eventos FAN y el precio por unidad de salmón al año 2050 (AQUACHILE, 2019). Esta aproximación asume que los ACS no tienen capacidad de adaptación a los eventos climáticos, por lo que ante la ocurrencia de un evento FAN en cualquier barrio salmonero, estos perderían toda la biomasa.

De acuerdo con los resultados reportados por ARCLIM el riesgo de un evento FAN varía latitudinalmente. Lo que implica que cada uno de los barrios de centros de cultivo presenta distinto riesgo asociado a eventos FAN. A mayor latitud del barrio, menor es el riesgo de un evento FAN. Incluso, en latitudes mayores a 54°S el riesgo es 0%.

Por su parte, los resultados del cálculo del riesgo de pérdida de biomasa debido a los eventos FAN muestran que existe una relación inversa entre el nivel de riesgo y el número de barrios afectados. A un nivel de riesgo de 90% solamente 1 barrio salmonero se ve afectado, mientras que con un riesgo del 10% 57 de los 69 barrios se verían afectados. Por lo tanto, los costos de la inacción frente al cambio climático para niveles de riesgo de eventos FAN de 90% y 10% se encuentran entre USD 276 y USD 6.800 millones de dólares anuales, respectivamente.

Es importante considerar que el costo calculado para el peor escenario representa una cifra significativa para la industria. Esto ya que el valor calculado para el peor escenario es mayor al valor de las exportaciones de la industria para el año 2018; dichos valores ascienden a USD 6.800 millones y USD 5.175 millones, respectivamente. Sin embargo, estos valores no responden a efectos cuantificados del cambio climático, por lo que para efectos de este estudio solo entregan información referencial, describiendo los posibles efectos del cambio climático sobre la industria salmonera. Adicionalmente, se reconocen dentro de las limitaciones del análisis, el asumir que el precio del salmón se mantiene constante en el futuro y que los productores no implementan ninguna medida de adaptación ante los cambios en la ocurrencia de eventos FAN.

Dado que en este sector solo se evaluó el efecto en cuatro actividades del sector, los resultados no representan los costos totales del sector, sino solo una fracción de estos. Esto, se debe especialmente a que para mediados de siglo solo se tienen resultados para los subsectores de pesca artesanal e industrial; y para fines de siglo se tienen los valores de Pesca artesanal y Acuicultura de mitílidos. En el cuadro 9 se puede observar un resumen de los costos asociados a cada actividad y el porcentaje que representan en el PIB sectorial del año 2019. Los costos proyectados para la acuicultura de mitílidos representan más del 6,21% del PIB de la industria para fines de siglo. Para mediados de siglo los costos son más moderados, representando solamente el 0,97% y 1,57% para la pesca artesanal e industrial del jurel, respectivamente.

Cuadro 9
Costos asociados a la inacción frente al cambio climático
y porcentaje que representan del PIB sectorial

Año	Subsector	Costo (En millones de pesos)	Porcentajes del PIB nacional 2019	Porcentajes del PIB sectorial 2018
2050	Pesca artesanal	12 400	0,00590	0,97
	Pesca industrial del jurel	20 142	0,00958	1,57
2100	Pesca artesanal	2 586	0,00123	0,20
	Acuicultura de mitílidos	79 674	0,03790	6,21

Fuente: Elaboración de los autores.

G. Puertos y playas

Para evaluar el impacto de la inacción frente al cambio climático en el sector de puertos y playas fue necesario calcular dos variables de interés: Oleaje y nivel del mar. Ambas variables se calcularon para un periodo histórico (1985-2004), para mediados de siglo (2026-2045) y para finales de siglo (2081-2100), bajo el escenario RCP 8.5. La información climática se obtuvo a partir del proyecto *Coupled Modeling InterComparison Project 5* (CMIP5), del cual se tomaron seis modelos y se calculó la mediana entre los modelos para realizar los cálculos de costos asociados a los cambios en el tiempo de operación de puertos y ancho de playas, en los sectores de puertos y playas, respectivamente. A pesar de que tanto en el sector de puertos como playas se emplearon las mismas variables climáticas, para cada sector se realizó una evaluación de los costos siguiendo metodologías distintas.

En el estudio de puertos se caracterizó el clima de oleaje para 8 puertos de las costas nacionales¹¹. A partir de esta información, se calculó el porcentaje de tiempo que un sitio de atraque no está disponible para una determinada nave a causa de la acción del oleaje, el cual se denomina *downtime* operacional. El cambio en los *downtimes* implica directamente cambios en el tiempo disponible para la operación de los puertos. Por ejemplo, una reducción de este tiempo implica que se atenderá menos barcos con los consecuentes costos económicos. En este estudio estos costos se aproximan usando las tarifas de cada puerto asociadas al atraque de buques y el movimiento de carga.

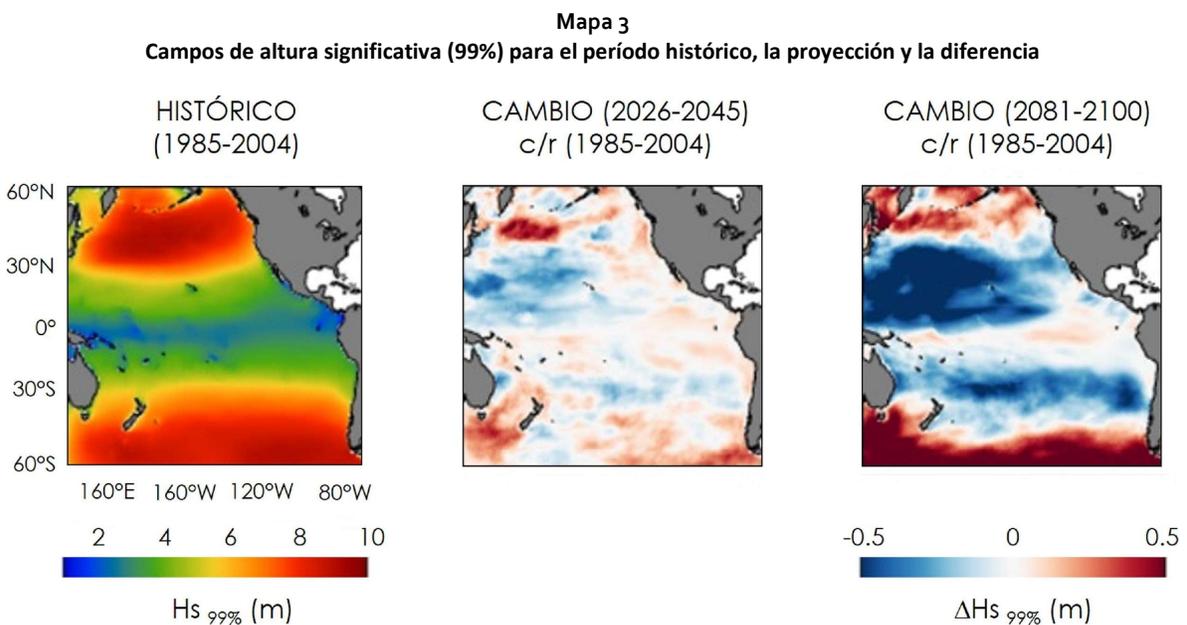
En el caso de playas los costos del efecto del cambio climático se evaluaron a partir de la reducción en el ancho de playas debido a la erosión. Para realizar dicho cálculo se estimaron los retrocesos de 45 playas de las costas nacionales para mediados y finales de siglo, tomando en cuenta el tamaño del sedimento y la altura de la berma. El valor económico asociado a la pérdida de playa se obtuvo usando la metodología de Transferencia de Beneficios de valor ajustado. Esta metodología utiliza valores obtenidos en otro estudio (primario) y los transfiere al sitio de interés. El estudio primario utilizado fue el de Parsons et al. (2013), en el cual se realiza un análisis mixto de preferencias reveladas y declaradas. Evalúan actividades recreativas observadas con escenarios contingentes de aumento o reducción en el ancho de la playa utilizando el método de costo de viaje. La valoración principal en este estudio corresponde a la disposición a pagar (DAP) de cada hogar por viaje y cambio en la proporción del ancho de playa tanto para viajes de corta duración como para viajes más largos.

La información del número de viajes a playas se obtuvo de la Encuesta Nacional de Viajes de los Residentes de Chile 2018, la cual mide el turismo interno en el país. Como los datos obtenidos representan el año 2018, se realizaron proyecciones de los usuarios utilizando la tasa de crecimiento turístico publicada por SERNATUR para 2019. Una vez obtenidas la cantidad de viajes y la DAP por hogar

¹¹ Puertos de Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo, Mejillones, Valparaíso, San Antonio y San Vicente.

por la reducción en el ancho de playa se calculó el valor económico de la erosión para cada una de las 45 playas evaluadas.

Los resultados de la modelación del oleaje se presentan en tres variables; altura significativa, periodo medio y dirección media. Los resultados de altura significativa muestran que para mediados de siglo habrá un aumento aproximado de 10 cm en la Zona Norte, mientras que en la Zona Central se espera una disminución aproximada de 10 a 20 cm. Para fin de siglo, se observa un patrón de cambio similar, pero más pronunciado, ya que se esperan disminuciones cercanas a los 30cm en la Zona Central y aumentos por sobre los 40cm en la Zona Sur (véase el mapa 3). En el caso del periodo medio, se espera que, tanto para mediados como fin de siglo, haya aumentos leves e inferiores a 0.5s en todo el océano pacífico sur. Por último, en cuanto a la dirección media, se espera que el oleaje frente a las costas de Chile tienda a presentar un giro hacia el sur (giro levógiro) de $\sim 3^\circ$ para mediados de siglo y $\sim 7^\circ$ para fin de siglo. En cuanto a los resultados del nivel del mar, se espera que el nivel medio absoluto crezca exponencialmente con el tiempo, hasta lograr un aumento entre 0,55–0,6 m a fin de siglo.

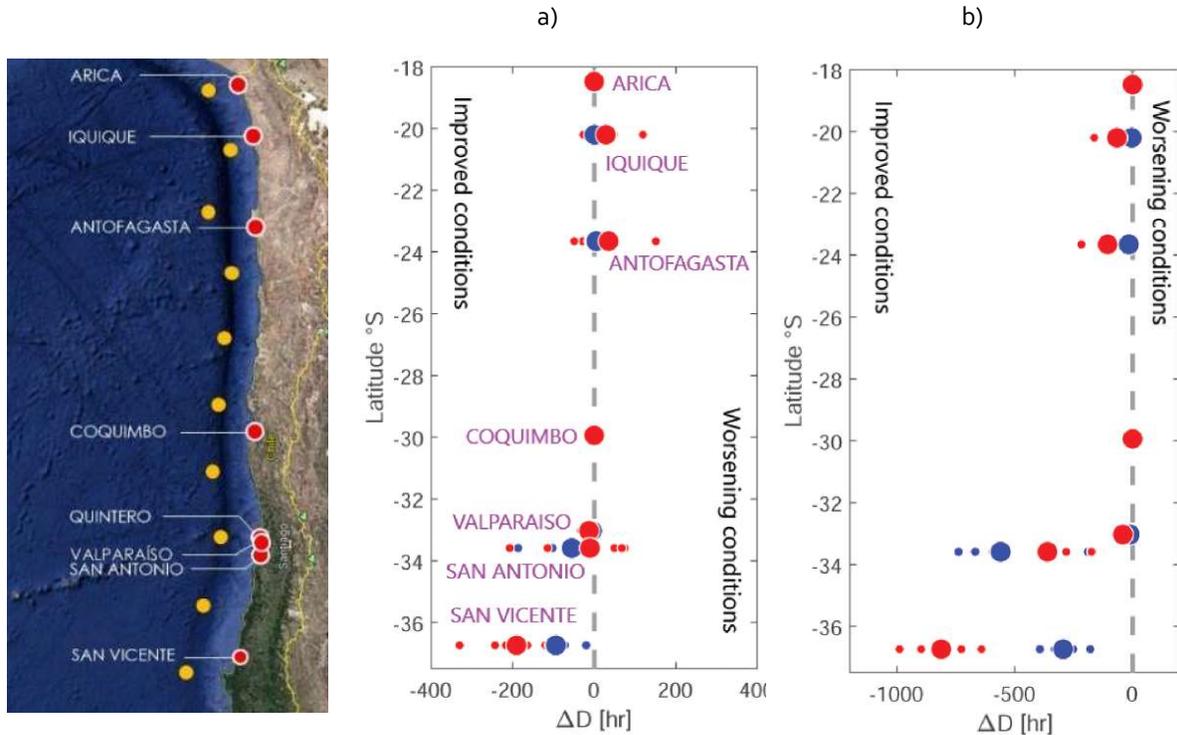


Fuente: Winckler, P. y otros (2022).

Los resultados muestran que algunos de los puertos evaluados mejorarán y otros empeorarán tiempos operativos para mediados de siglo, mientras que habrá una mejoría significativa para finales de siglo, especialmente en relación a la actividad de atraque de buques (véase el mapa 4). De manera puntual, los puertos que experimentarán efectos negativos en su operación son Arica, Iquique, Antofagasta y San Antonio, mientras que Mejillones, Coquimbo, Valparaíso y San Vicente presentarán oportunidades.

En términos económicos, para mediados de siglo se esperan pérdidas de USD 2.18 millones anuales, mientras que se esperan ganancias de USD 17,12 millones anuales, lo cual genera ganancias netas de USD 14,9 millones anuales. En contraste con esto, para finales de siglo se espera que las pérdidas sean de USD 152.209, mientras que habrá un aumento significativo de las ganancias, las cuales ascienden a USD 35,73 millones de dólares anuales, generando una ganancia neta de USD 35,57 millones anuales. Como se observa, los resultados a medio siglo son relativamente acotados ya que los cambios en el *downtime* se encuentran bajo las 100 horas anuales para la mayoría de puertos.

Mapa 4
Cambios en el downtime operacional entre el período histórico (1985-2004) y a) la proyección a medio siglo (2026-2045) y b) fines de siglo (2081-2100) para umbrales de operación asociados a un buque portacontenedores (En horas/año)



Fuente: Winckler, P. y otros (2022).

Nota: Definidas por $H_s^{lim} = 1,5$ m para oleaje pegando por la banda (puntos rojos simbolizan cada GCM y puntos rojos grandes la mediana entre los modelos) y $H_s^{lim} = 2,0$ m para oleaje pegando por la proa o popa (puntos azules simbolizan cada GCM y puntos azules grandes la mediana entre los modelos).

El cuadro 10 muestra el porcentaje del PIB sectorial que representan los costos y beneficios asociados al cambio climático en el sector de puertos y playas. En relación a puertos, se puede observar que el cambio climático generaría más beneficios que costos tanto a mediados como finales de siglo. Estos podrían llegar a representar un 0,0008% del PIB del sector transporte para mediados de siglo y 0,0001% para fines de siglo.

En el caso de playas se puede observar que los costos de la inacción pueden representar un 0,002% y 0,004% del PIB nacional para mediados y fines de siglo respectivamente. Estos resultados en cambio representan un 0,02 y 0,04% del PIB de comercio, restaurantes y hoteles.

El estudio tiene una serie de limitaciones técnicas, por ejemplo, las estadísticas del oleaje se basan en puntos representativos de cada bahía y no en el clima de oleaje de los sitios de atraques, por lo que las estimaciones pueden ser una aproximación conservadora del *downtime*. Finalmente, el estudio no incluye el efecto de otras variables atmosféricas oceanográficas o geofísicas bajo un enfoque multi-amenaza (Winckler, 2020). En cuanto a limitaciones en el costo económico, un aspecto no analizado en este estudio corresponde a los eventuales daños que experimente la infraestructura portuaria debido a la combinación del aumento del nivel medio del mar y de las marejadas. Si bien no es una limitante, el estudio no analizó la implementación de futuras medidas de adaptación como obras de abrigo, mejora de los sistemas de amarre o el uso de sistemas de alerta temprana de marejadas.

Cuadro 10
Costos y beneficios asociados a la inacción frente al cambio climático
y porcentaje del PIB sectorial que representan

Subsector	Año	Costo (En millones de pesos)	Porcentaje del PIB nacional 2019	Porcentaje del PIB sectorial 2019	Beneficio (En millones de pesos)	Porcentaje del PIB nacional 2019	Porcentaje del PIB sectorial 2019
Puertos	2050	1 631	0,0008	0,018	12 748	0,006	0,14
	2100	112	0,0001	0,001	26 605	0,013	0,29
Playas	2050	4 185	0,0020	0,019			
	2100	7 856	0,0037	0,035			

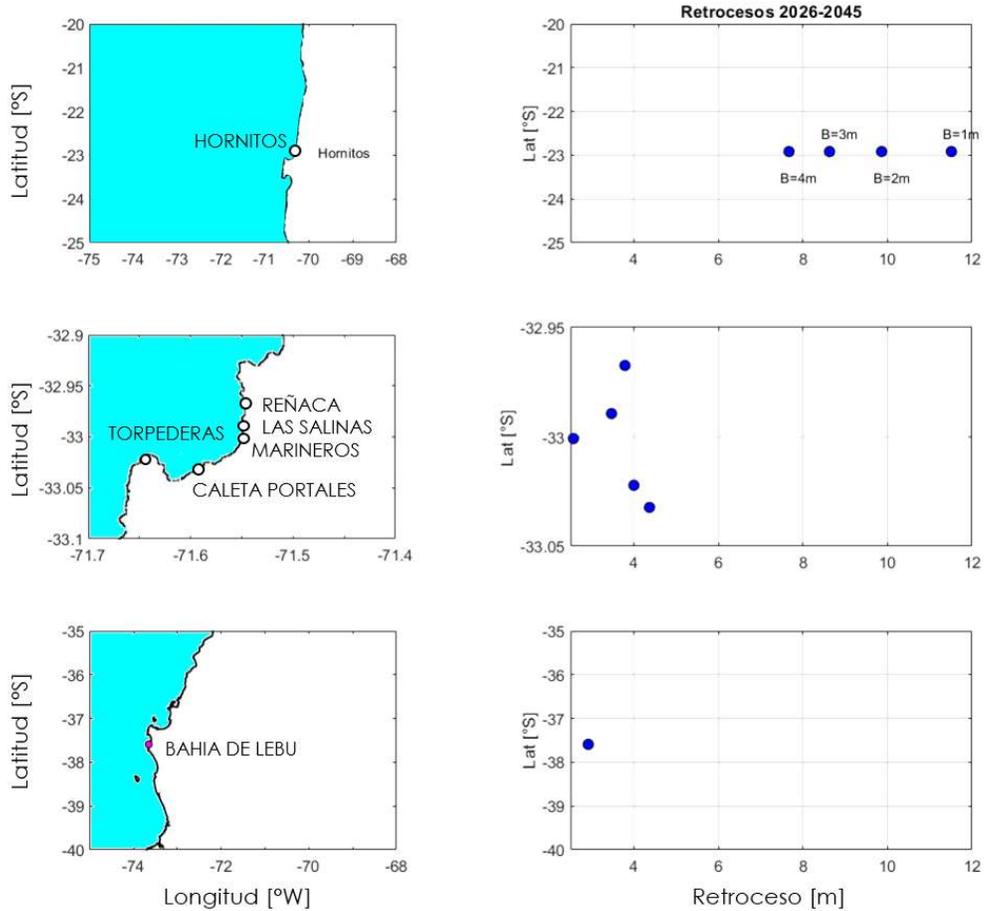
Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados del estudio de playas indican que, para mediados de siglo, el retroceso medio de las playas analizadas será de 12m, dependiendo del tamaño del grano y la altura de berma de la playa (véase el mapa 5). Las playas con sedimentos fino experimentarán mayores retrocesos que aquellas con sedimentos gruesos. En cuanto a la berma, las playas con menor altura de berma serán más afectadas que sus contrapartes. Para finales de siglo, se esperan retrocesos de hasta 50 metros (véase el mapa 6), lo cual se debe principalmente a que el nivel medio del mar absoluto aumentará. Para este escenario, los retrocesos esperados pueden significar una pérdida completa de varias playas en la línea costera nacional.

El análisis de costos asociados a la erosión contempló 45 playas de las cuales se tiene información de los retrocesos e información del uso recreativo. Para mediados de siglo, de manera agregada los costos económicos de la erosión ascienden a USD 5,62 millones anuales. En el caso de finales de siglo, el valor asciende a USD10,55 millones anuales. El aumento significativo de los costos a finales de siglo se debe principalmente a que 13 de las playas analizadas se erosionarían completamente para el año 2100. La posible desaparición de playas para finales de siglo es una temática que genera discusión, ya que tanto a nivel global como en Chile, se espera que al menos la mitad de las playas arenosas estén bajo amenaza de desaparecer (Vousdoukas et al., 2020).

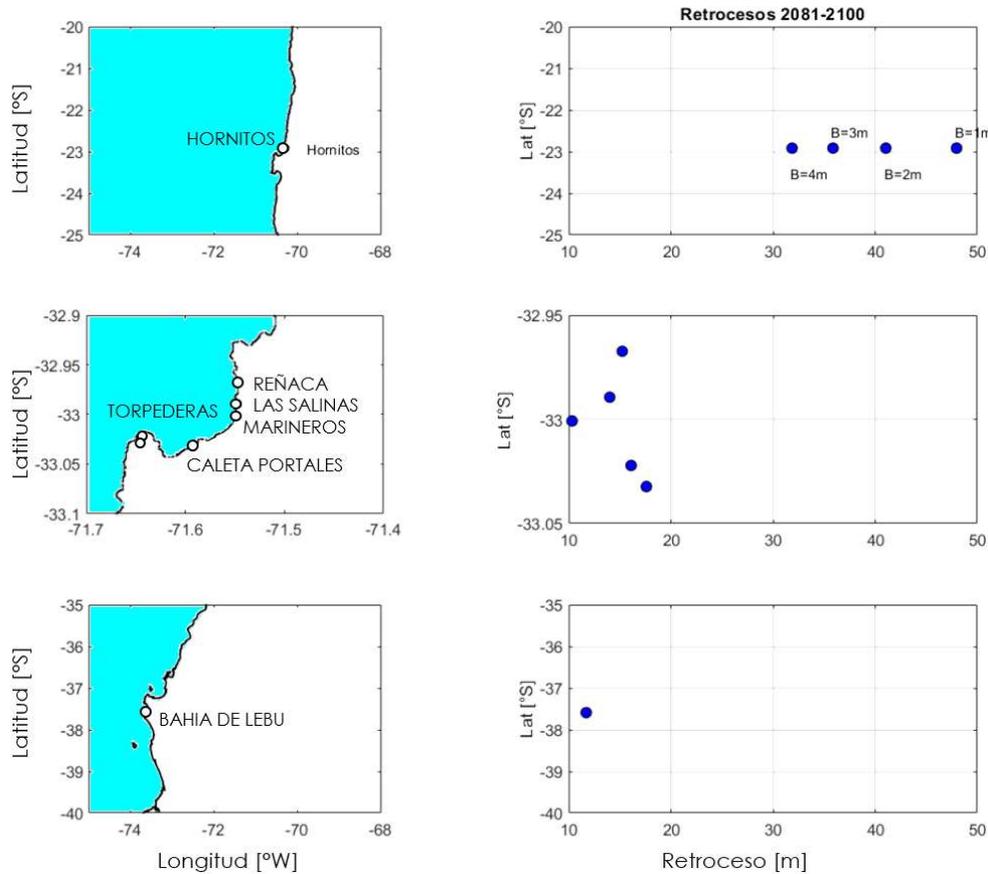
Cabe notar que el cálculo de los costos de inacción no contempla a aquellos asociados al daño que experimentarán las obras marítimas producto del efecto conjunto de un aumento del nivel medio del mar y de las marejadas. Esta exclusión constituye una brecha que debiera ser cubierta en un futuro pues afectará los requerimientos de mantención preventiva y de reparación por parte del estado y los concesionarios de terminales portuarios.

Mapa 5
Retroceso de la línea de costa, para playas seleccionadas con datos de D₅₀ y B, debido al efecto conjunto de cambio en el nivel medio del mar y proyecciones de altura de ola para el escenario de mediados de siglo (2026-2045)



Fuente: Elaboración de los autores.

Mapa 6
Retroceso de la línea de costa, para playas seleccionadas con datos de D₅₀ y B, debido al efecto conjunto de cambio en el nivel medio del mar y proyecciones de altura de ola para el escenario de finales de siglo (2081-2100)



Fuente: Elaboración de los autores.

H. Salud

La valoración del impacto de la inacción frente al cambio climático en el sector de salud se realizó analizando la relación entre el patrón de temperaturas y la mortalidad y morbilidad de la población. La metodología empleada se basa en el estudio de mapas de riesgo ARClím. El presente estudio analiza el efecto de la temperatura y olas de calor en la mortalidad y morbilidad utilizando curvas dosis-respuesta para caracterizar cambios en el riesgo relativo por cambios en temperatura bajo el escenario RCP 8.5, hasta el año 2100.

El efecto de la temperatura en la mortalidad y morbilidad fueron evaluados independientemente. Para el estudio de mortalidad se utilizaron datos de defunciones por causa de muerte, mientras que para el estudio de morbilidad se utilizaron las estadísticas de egresos hospitalarios, ambos reportados en el sitio web del DEIS. A partir de un análisis preliminar y en concordancia con lo reportado en la evidencia internacional, se estudiaron las muertes por causas no accidentales para todas las edades, los egresos por causas respiratorias para todas las edades, y los egresos por causas cardiovasculares para mayores de 65 años. Las variables climáticas de temperatura y humedad específica, del periodo 1981-2010, se obtuvieron del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).

El análisis se llevó a cabo para 30 zonas de Chile¹² las cuales representan el 73% de la población nacional. Estas zonas corresponden a comunas únicas o ciudades conformadas por 2 o más comunas. Las zonas corresponden principalmente a las áreas urbanas y comunas, que no fueron integradas en ciudades, pero que tienen una población de 100.000 habitantes o más, según datos del censo 2017. A este grupo de comunas se agregan dos excepciones; San Pedro de Atacama y Diego de Almagro. De esta manera se excluye principalmente a comunas rurales pequeñas.

A partir de un modelo de regresión lineal generalizado de Poisson fue posible obtener el coeficiente de riesgo asociado a cada nivel de temperatura y, posteriormente, utilizarlo para construir curvas de riesgo de temperatura-morbilidad y temperatura-mortalidad. Los resultados estimados fueron cuantificados anualmente, pero se agruparon en dos bloques de 30 años a partir del promedio de temperaturas máximas. El primer bloque considera el periodo 2035-2064 y el segundo, el periodo 2070-2099, que corresponden a mediados y finales de siglo, respectivamente.

Para la valoración de los efectos de la temperatura en salud, se calcularon costos unitarios para mortalidad y morbilidad separadamente, según causas específicas y grupo de edad. En el caso de la valoración social de los eventos de mortalidad en exceso, se utilizó el Valor de la Vida Estadística recomendado por el Ministerio de Desarrollo Social asociado a cambios en el riesgo de enfermedades cardiorrespiratorias, el cual corresponde a UF 10.111 (Ministerio de Desarrollo Social, 2017). Para la valoración de los efectos sobre la morbilidad se usaron costos directos, que están asociados a los costos de tratamiento y gastos médicos directos y los costos indirectos, que están relacionados con una pérdida de productividad. Los costos unitarios para morbilidad se distinguen en egresos de casos cardiovasculares y respiratorios. Los primeros tienen un valor de 86,6 UF por caso y los segundos de 6,8 UF (GreenLab, 2020).

Los resultados muestran que las modificaciones en los patrones de temperatura derivados del cambio climático tendrán un efecto neto negativo en la salud. Asimismo, el análisis muestra que los efectos serán heterogéneos sobre el territorio nacional, esperando un mayor aumento porcentual en la Zona Norte y un mayor número de afectados en el centro del país, esto último principalmente debido a la mayor cantidad de población en la zona.

En el cuadro 11 se muestran los resultados de variaciones netas en casos y sus costos asociados para mediados y fines de siglo. Las variaciones netas se muestran solo considerando los resultados con significancia estadística de al menos un 80%.

A nivel nacional, se espera que tanto la mortalidad como la morbilidad tengan un aumento tanto a mediados como finales de siglo. Para 2050 se esperan 1.072 decesos, 2.707 egresos por causas respiratorias y 677 egresos por causas cardiovasculares. Esto genera costos económicos que ascienden a USD 412 millones anuales para la mortalidad, mientras que para la morbilidad se esperan costos de USD 0,70 y USD 2,23 millones anuales por causas respiratorias y cardiovasculares, respectivamente. Para finales de siglo se esperan 1.718 decesos, los cuales están valorados en USD 660 millones anuales. En el caso de los egresos, se estima que habrá 3.704 casos relacionados a causas respiratorias y 906 a causas cardiovasculares, generando costos de USD 0,96 y USD 2,99 millones anuales respectivamente. Adicional a esto, se calcula que el costo anual promedio en salud para el periodo completo será de USD 564 millones, lo cual representa aproximadamente un 10% del presupuesto del Ministerio de Salud para el año 2020.

¹² Las zonas corresponden a comunas únicas con población mayor a 100.000 habitantes o grupos de comunas que en conjunto superen los 100.000 habitantes.

Cuadro 11
Variaciones netas y costos asociados a mortalidad
y egresos hospitalarios para mediados y fin de siglo

Zona	Año	Mortalidad		Egresos por causas respiratorias		Egresos por causas cardiovasculares		Costo total (En millones de dólares)
		Variación neta	Costo (En miles de dólares)	Variación neta	Costo (En miles de dólares)	Variación neta	Costo (En miles de dólares)	
Norte	2050	-	-	312	81	144	476	0,56
	2100	-	-	686	178	-	-	0,18
Norte Cordillera	2050	-2	-926	-29	-8	-	-	-0,93
	2100	-	-	-28	-7	-	-	-0,01
Centro	2050	1 095	421 109	1 736	449	508	1 673	423
	2100	1 389	533 962	2 116	548	761	2 509	537
Centro Sur	2050	-	-	391	101	-	-	0,10
	2100	351	134 787	514	133	-	-	134
Sur	2050	-	-	312	81	109	359	0,44
	2100	-	-	421	109	196	646	0,75
Austral	2050	-21	-8 053	-15	-4	-84	-277	-8,33
	2100	-22	-8 349	-6	-2	-51	-167	-8,52
Nacional	2050	1 072	412 129	2 707	701	677	2 231	415
	2100	1 718	660 399	3 704	959	906	2 987	664

Fuente: Elaboración de los autores.

Una de las limitaciones del estudio está dada por el grado de incertidumbre que generan las funciones dosis-respuesta estimadas para las 30 zonas. Si bien calcular estas funciones a nivel de zonas tiene la ventaja de controlar por las particularidades locales, tiene las limitantes de tener menos observaciones y un menor rango de temperaturas, que en algunos casos quedan alejados de las proyecciones con cambio climático.

Es importante mencionar que esta aproximación de costos se enfoca en el individuo afectado, por lo que no se consideran otros costos en salud que sobrepasan el análisis individual. Asimismo, es relevante resaltar que este estudio corresponde al primer esfuerzo por valorizar el efecto del cambio climático en la salud de la población. Valorizar el efecto del calor en la salud permite tener una buena aproximación del impacto que tendrá el cambio climático en la salud; sin embargo, aún quedan desafíos por delante. Existen otros efectos en la salud que no pudieron ser cuantificados en este estudio, tales como el efecto de los incendios en la salud respiratoria, enfermedades asociadas al consumo de alimentos y agua, lesiones y defunciones por eventos hidrometeorológicos extremos, entre otros. La principal limitante para el estudio de estos efectos hacia el año 2100 es la falta de datos con respecto al estado actual y proyectado de la distribución geográfica de la amenaza y sobre la tasa de incidencia de los efectos a la salud asociados. En el futuro, se espera se generen estudios que entreguen los insumos necesarios para proyectar otros efectos del cambio climático en la salud, y así complementar los resultados de este estudio.

III. Síntesis de resultados

En esta sección se presenta una síntesis de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios sectoriales para mediados y fines de siglo. Los resultados han sido todos convertidos a dólares usando una tasa de 744 pesos por dólar, el tipo de cambio nominal al 30 de diciembre de 2019. Se debe recordar que, por las razones explicadas en cada caso, no todos los estudios lograron generar estimaciones para ambos periodos.

Los resultados, para mediados de siglo, de los costos y beneficios para cada sector, se presentan en el cuadro 12. Cuando los estudios identificaron beneficios, por ejemplo, por una reducción de los tiempos de paralización de algunos puertos, estos se presentan en forma separada de los costos, producto de un aumento en los tiempos de paralización en otros puertos. Para cada sector se muestran los costos por subsector o escenario de evaluación.

En el caso del sector agrícola los costos de la inacción a mediados de siglo son de USD 428 millones en un año, mientras que, si se implementa la medida de adaptación de mejoramiento de cultivos seleccionada, los costos serían USD 377 millones (véase el cuadro 12)¹³. Asimismo, estos valores significan una reducción de 28% y 25% de los ingresos netos de los cultivos modelados para los escenarios sin adaptación y con la medida considerada, respectivamente. La reducción de ingreso en el escenario sin adaptación se traduce en una reducción de 10% del PIB silvoagropecuario. Este valor es inferior a la reducción en ingresos netos ya que por falta de información en el estudio no se pudieron incluir los efectos en otros subsectores como el silvícola o pecuario. El sector de agua potable tiene costos para mediados de siglo de USD 229 millones en un año, asociado a un exceso de demanda (déficit o demanda insatisfecha) de 27% que resulta de menores caudales y mayor demanda residencial. El sector biodiversidad tiene costos anuales de USD 1.300 millones al año 2050, principalmente debido a la pérdida de servicios ecosistémicos de los bosques. Por otra parte, la pérdida de ecosistemas en las áreas protegidas genera un costo de 15,5 millones de dólares por servicios ecosistémicos asociados al

¹³ Estos valores corresponden a dos escenarios independientes, sin embargo, el que tiene mayor relevancia es el primer valor, ya que aborda la pregunta del costo frente a la inacción, y en ningún caso el escenario con medida de adaptación busca ser representativo de todas las posibles medidas.

turismo. Estos valores representan el 0,46% y 0,01% del PIB de Chile de 2019, respectivamente. El subsector de transmisión eléctrica presenta pérdidas de USD 4,67 millones, mientras que el de generación tiene pérdidas anuales de USD 46,32 millones al 2050, asociada a la menor disponibilidad de agua para hidro-generación. El sector de la minería del cobre tiene pérdidas en su PIB de USD 1.646 millones, asociadas a una reducción total al acceso a agua fresca al 2050. Este monto es importante comparado con los otros sectores, pero modesto en relación al tamaño de esta industria. Se debe recordar, sin embargo, que este valor no puede ser atribuido completamente al cambio climático ya que representa un escenario extremo de pérdida total de los derechos de aprovechamiento por parte de la industria. El subsector de pesca artesanal presenta costos de USD 17 millones por restricciones a la operación, lo cual representa una reducción de aproximadamente 10% de las ganancias de este subsector. En el caso de la pesca industrial de Jurel los costos fluctúan entre USD 11,5 y USD 42,6 millones por los efectos del cambio climático en la productividad, asociados a eventos de El Niño, lo que representa una pérdida aproximada de 7,5% del valor total de los desembarques. El subsector de puertos tiene costos de USD 2 millones en puertos que disminuye su tiempo operativo, pero a la vez ganancias de USD 17 millones en puertos donde este tiempo aumenta. El subsector de playas tiene un costo de USD 5,6 millones por la erosión, que en algunos casos lleva a la pérdida total de ellas. El sector salud tiene costos de USD 421 millones anuales por aumento en mortalidad y de USD 3,2 por aumento en la morbilidad.

En el cuadro 12 se presentan los resultados para fines de siglo. Como se mencionó anteriormente no todos los sectores lograron cuantificar los costos para este periodo. En el caso del sector energía los costos son de USD 13,32 y 85,01 millones en líneas de transmisión e hidro-generación, respectivamente. Los costos de la minería de cobre también aumentan llegando a USD 2.624 millones de dólares, explicado por las restricciones al crecimiento potencial por los mayores costos asociados a la operación de plantas desalinizadoras. Estos costos se asocian a una reducción de la producción en un 4,8%, como valor máximo para fines de siglo. El subsector de pesca artesanal ve disminuidos sus costos por un cambio en la orientación de las olas que reduce los efectos sobre la operación de las caletas. Pasando sus costos a representar USD 3.05 millones en un año, que en comparación al 10% calculado para mediados de siglo, esto solamente representa una reducción en las ganancias del 1,3%. Los efectos del cambio climático en la acuicultura de mejillones se traducen en costos de USD 107 millones, por pérdida de calidad y valor del producto, este valor corresponde a una reducción del 52% en la disponibilidad a pagar por mejillones con cambios en sus atributos comerciales. El subsector de puertos reduce los costos e incrementa los beneficios alcanzando los USD 0,15 y USD 35,7 millones, respectivamente. El subsector de playa casi duplica las pérdidas llegando a los USD 10,6 millones, lo cual se debe principalmente a que a fines de siglo algunas playas desaparecen debido a la erosión. Los costos en el sector salud también aumentan: la mortalidad tiene costos de USD 668 millones y la morbilidad de USD 3,95 millones. Tomando en cuenta el promedio anual de todo el periodo analizado, los costos en salud representan el 10% del presupuesto anual del Ministerio de Salud para el año 2020.

Dada las diferencias metodológicas entre los estudios, por usar diferentes proyecciones climáticas, y distintas aproximaciones para medir el costo, no es recomendable sumar los valores obtenidos. No obstante, teniendo en cuenta esta limitación de forma exploratoria, si se suman los valores se obtiene un costo neto (costos menos beneficios anuales) de USD 4.120 millones a mediados de siglo, lo que en términos del PIB de 2019 representa un 1,46%. A fines de siglo, si bien sólo hay mediciones para 5 sectores, el monto es de USD 3.471 millones, representando 1,23% del PIB de 2019. Sin embargo, estos valores no consideran el crecimiento esperado del PIB nacional. Si utilizamos proyecciones de crecimiento del Ministerio de Hacienda (Chamorro et al, 2021) de 2 para 2019-2030, 2,1% para 2031-2040, 1,6% 2041-2050, y asumiendo un crecimiento del 1% del 2051 al 2100, el costo de la inacción representaría un 0,8% y 0,4% del PIB proyectado para mediados y fines de siglo respectivamente. Estos valores se encuentran en línea con el rango de reducciones de ingreso a nivel global de entre 0,2% y 2% para un aumento de temperatura cercano al 2,5°C, reportado por el IPCC (2014).

Cuadro 12
Costos y beneficios de la inacción frente al cambio climático al año 2050

Sector	Subsector/escenario	Costos anuales (En millones de dólares)	Beneficios anuales (En millones de dólares)	Porcentaje PIB 2019	
				Costos	Beneficios
1 Agrícola	Sin adaptación	428		0,15187	
	Con adaptación	377		0,13360	
2 Agua potable		229		0,08122	
3 Biodiversidad y turismo	Biodiversidad	1 300		0,46047	
	Turismo áreas protegidas	15		0,00550	
4 Energía	Efecto líneas transmisión	4,67		0,00165	
	Efecto hidro-generación	46,32		0,01641	
5 Minería	Cobre	1 646		0,58303	
6 Pesca y acuicultura	Pesca artesanal	17,6		0,00590	
	Pesca Industrial de jurel	27		0,00958	
7 Puertos y playas	Puertos	2,18	17,00	0,00077	0,00606
	Playas	5,62		0,00199	
8 Salud	Muertes	421	8,80	0,14916	0,00312
	Egresos causas respiratorias, todas las edades	0,71	0,12	0,00025	0,00004
	Egresos cardiovasculares, adultos mayores	2,51	0,28	0,00089	0,00010

Fuente: Elaboración de los autores.

Cuadro 13
Costos y beneficios de la inacción frente al cambio climático al año 2100

Sector		Costos anuales (En millones de dólares)	Beneficios anuales (En millones de dólares)	Porcentaje PIB 2019	
				Costos	Beneficios
4 Energía	Efecto líneas transmisión	13,32		0,00472	
	Efecto hidro-generación	85,01		0,03011	
5 Minería	Cobre	2,624		0,9294	
6 Pesca y acuicultura	Pesca artesanal	3,05		0,0011	
	Acuicultura de mejillones	107		0,0379	
7 Puertos y playas	Puertos	0,15	35,73	0,0001	0,01266
	Playas	10,55		0,0037	
8 Salud	Muertes	668	8,35	0,2369	0,00296
	Egresos causas respiratorias, todas las edades	0,97	0,10	0,0003	0,00004
	Egresos cardiovasculares, adultos mayores	2,99	0,17	0,0011	0,00006

Fuente: Elaboración de los autores.

IV. Mejoras metodológicas

El presente estudio muestra resultados sobre los costos económicos para diversos sectores de la economía del país; sin embargo, existen algunas mejoras metodológicas que podrían tomarse en cuenta para futuros estudios. A continuación, se presentan recomendaciones generales y específicas para mejorar los estudios realizados.

La primera mejora metodológica identificada se relaciona con las fuentes de información utilizadas para realizar las proyecciones climáticas en cada uno de los estudios sectoriales. Debido a que cada estudio presentó requerimientos de información particulares, fue necesario emplear más de una fuente de información climática, ya que la mayoría de las fuentes de información disponibles no cuentan con todas las variables climáticas de interés para cada sector y periodo. Estas distintas fuentes de información climática no solo pueden tener distintas señales climáticas si no también diferente confiabilidad. Estas diferencias en los datos climáticos utilizados pueden traducirse en diferencias en los costos calculados. Esto, a su vez, puede dificultar la comparación de los resultados del estudio con otros estudios en el futuro.

De manera similar, algunos estudios sectoriales incluyeron proyecciones de variables socioeconómicas, pero no todas ellas siguieron proyecciones consistentes entre sí. Por lo tanto, para mejorar la comparabilidad de los resultados sectoriales se recomienda en el futuro utilizar proyecciones comunes de estas variables.

Por último, es importante mencionar que la temporalidad y escala de los resultados son diferentes para cada sector. Algunos estudios sectoriales incluyen resultados para diversos periodos de tiempo (anuales, décadas, etc.), mientras que otros solamente presentan resultados para mediados y fines de siglo. Asimismo, para algunos sectores realizaron análisis desagregados por región o macrozonas, pero estas no son homogéneas a lo largo del estudio global. Esto provoca que no se puedan presentar resultados generales agregados de manera temporal o geográfica.

A. Mejoras metodológicas por sector

Como parte de los resultados del estudio se identificó para cada sector analizado las brechas y problemas metodológicos identificados que en futuros estudios debieran abordarse. De esta forma, esta sección busca contribuir a mejorar las futuras estimaciones que se hagan de los costos de la inacción en el país.

1. Agricultura

Dentro del sector de agricultura se identificaron dos mejoras metodológicas principales; la creación de un modelo hidrológico y la inclusión de información más completa y actualizada de la actividad agrícola.

En el caso del modelo hidrológico, este permitirá tener una mejor perspectiva acerca de la disponibilidad de agua para la agricultura y su efecto en las actividades irrigadas. Asimismo, a partir de un modelo hidrológico sería posible tener una mejor comprensión de la dinámica social y económica del recurso y la disponibilidad de esta en relación a otros tipos de usos importantes (uso humano, uso industrial).

Por otra parte, la inclusión de más tipos de cultivos generaría información de costos más realistas y con mayor representatividad para el sector. Esto, más allá de ser una mejora metodológica, se puede identificar como una limitación en función de la cantidad de información disponible. Se recomienda que a medida que se genere mayor información acerca de las actividades agrícolas se actualicen los resultados del presente estudio para tener una mejor visión de los costos totales de la inacción frente al cambio climático en el sector.

2. Agua potable

Dentro del sector de agua potable las mejoras metodológicas identificadas, en su mayoría, están relacionadas a la falta de información para completar los modelos de oferta de agua en el futuro. Puntualmente, en el cálculo de los valores de los costos no se consideran cambios en el VAC, lo cual podría ser determinante en la demanda futura del agua residencial. Esta omisión probablemente se traduce en menores costos dado que es esperable que el VAC aumente con una mayor demanda y menor oferta futura de agua cruda. Asimismo, no fue posible modelar el efecto del cambio climático en otros sectores que compiten por el agua, al igual que no se tiene suficiente información para agregar el efecto del cambio climático sobre el agua subterránea.

3. Biodiversidad y turismo en áreas protegidas

Dentro del estudio del sector de Biodiversidad y Turismo en Áreas Protegidas la mejora metodológica más importante se relaciona con la generación de información primaria sobre el valor de los servicios ecosistémicos de la biodiversidad y el turismo. La falta de información sobre valores de los servicios ecosistémicos no permitió utilizar estudios nacionales para realizar las estimaciones económicas, lo cual puede introducir importantes errores en los valores finales.

Adicional a esto, se debe tomar en cuenta que en este análisis solo se contempló el turismo dentro de las áreas protegidas. Es importante mencionar que este es un sector mucho más grande y que se debe complementar el valor del costo de la inacción con estudios en otros componentes no relacionados a áreas protegidas.

Asimismo, este estudio podría ser complementado mediante el uso de distintos escenarios de emisiones para analizar el comportamiento de la biodiversidad con diferentes parámetros climáticos. A pesar de que las mejoras metodológicas van más allá del alcance de este estudio, es importante identificar que la falta de información acerca de los valores de los servicios ecosistémicos presentó un desafío en el cálculo de los costos de la inacción frente al cambio climático.

4. Energía

En energía, donde sólo se estudió el sector eléctrico, se pudieron identificar tres principales mejoras metodológicas. La primera, fue la imposibilidad de identificar la relación entre demanda eléctrica y los precios simulados. No se consideraron explícitamente efectos del cambio climático sobre esta demanda. Los cambios en la demanda tendrán efectos en los precios, por tanto, es importante que en estudios futuros se tenga mayor claridad acerca de esta interacción y el efecto de la demanda.

Adicional a esto, el estudio no considera dentro de sus escenarios la posible sustitución de producción de energía en el futuro, solamente analiza un escenario con disminución de generación de energía. Además, los cálculos de los valores de inacción se realizan bajo fuertes supuestos sobre la infraestructura de generación en el futuro. Ambas variables podrían tener un fuerte efecto en el valor de los costos de la inacción si se construye un escenario en que se analicen variaciones en estos parámetros. Por último, el estudio solo se centró en la energía eléctrica y no en otro tipo de energía.

5. Minería

En el estudio del sector minero se pudo identificar una mejora metodológica importante respecto al uso de modelaciones de variables climáticas. Específicamente, en este estudio no se utilizaron las modelaciones climáticas como insumo para realizar los cálculos de los costos del cambio climático a diferencia del resto de los sectores. La mayor limitación que tiene el estudio, respecto a las variables climáticas, es que solamente toma en cuenta cambios en la disponibilidad de agua para crear los escenarios a mediados y fines de siglo. Esto implica que otros factores climáticos relevantes no están siendo tomados en cuenta y, por lo tanto, no se están incluyendo en el cálculo de los costos de la inacción.

Asimismo, se recomienda que para estudios futuros y el desarrollo de modelos más avanzados se utilice información de las reservas de cada yacimiento, así como generar supuestos acerca del uso de nuevas tecnologías que ayuden a superar dificultades actuales. Adicionalmente se deben incorporar en el análisis otros sectores de la minería: metálica y no metálica.

6. Pesca y acuicultura

En el estudio del sector de pesca y acuicultura se pudo identificar una serie de mejoras metodológicas, tanto generales, como para cada subsector analizado. En términos generales, las estimaciones de costos de la inacción en este sector se realizaron de forma independiente para cuatro componentes del sector. Esto, a pesar de tomar en cuenta diversas partes de la industria, genera dificultades al momento de agregación de los costos, ya que estos no son directamente agregables.

Adicional a lo anterior, es importante mencionar que para cada estudio se realizó un análisis con variables climáticas distintas y tomando los datos de distintas bases de datos climáticos. Esto también genera que los resultados presentados no puedan agregarse a nivel de sector sino tengan que ser presentados de manera independiente.

Dado a que es una industria y sector muy diverso, se recomienda que se complementen los estudios realizados incluyendo más sectores de la industria de pesca, ya sea, extendiendo los estudios para pesca artesanal e industrial, o agregando otros componentes importantes del sector a nivel nacional. De especial importancia es generar modelos sobre los efectos del cambio climático en la salmonicultura dada su relevancia en el país y exposición climática.

7. Puertos y playas

Para el sector de puertos y playas se tienen recomendaciones puntuales para cada sector, ya que los cálculos de los costos se realizaron de manera independiente para puertos y playas.

En el caso de puertos, una mejora evidente para el presente estudio sería incluir a los puertos privados dentro del análisis de los costos. Si bien, conseguir estos datos puede resultar desafiante, debido a la falta de acceso público a los datos, si se incluyen dentro de un estudio se podría tener una mejor perspectiva del costo total de la inacción frente al cambio climático en este sector. Asimismo, podrían incluirse un análisis del comportamiento del tráfico marino frente a las condiciones climáticas y cierre de puertos, es decir, si existen alternativas de atraque y desembarque en otros puertos del país y cuál sería el costo que representaría movilizar a los navíos entre puertos debido a las condiciones climáticas.

En el caso del sector de playas, se pudo identificar que los cálculos solamente contemplan costos o pérdidas asociadas al turismo interno y se realizaron fuertes supuestos acerca de la cantidad de viajes y personas que visitan las playas incluidas dentro del estudio. Para mejorar las estimaciones sería recomendable tener información primaria de la cantidad de visitantes, tanto extranjeros como nacionales, del uso de las playas, ya que la información utilizada no tenía datos puntuales para playas, sino solamente por comunas o agregados de destinos turísticos. También se recomienda realizar estudios primarios para cuantificar la valoración de este recurso en el país y para no tener que depender de estimaciones internacionales.

Asimismo, el costo de inacción asociado a playas es solamente desde una perspectiva recreacional. En orden de tener una mejor visión acerca del costo real, se recomienda que se incluyan los costos asociados otro tipo de actividades importantes que se realizan en las playas, por ejemplo, los costos asociados pérdidas de ventas en recolectores de orilla.

8. Salud

En el sector de salud, al igual que en otros sectores, se pudo identificar que la mayor limitante para la generación de resultados más robustos es la falta de información para incluir en los modelos. Principalmente se puede observar que no existen estudios que cuantifiquen los efectos del cambio climático en la salud en el país, lo cual se debe a la falta de información histórica acerca de los efectos físicos y climáticos sobre la salud de las personas. Puntualmente, es complejo tener información histórica de los efectos, ya que en general, existen pocos periodos de tiempo (días, semanas) en que se presenten las condiciones climáticas similares a las que se proyectan a partir de las modelaciones de clima. Esto dificulta entender los efectos y, por lo tanto, el cálculo del costo asociados a estos efectos. Asimismo, esta falta de información provoca que los estudios se realicen con una baja cantidad de datos, lo cual puede provocar incertidumbres muy grandes. Este estudio sólo logró trabajar con uno de los efectos identificados entre muchos otros potencialmente importantes pero que no fue posible cuantificar.

En este sentido lo que se necesita es una agenda de investigación, con múltiples proyectos de investigación, que permita ir iluminando los distintos efectos y reduciendo las incertidumbres en los resultados. Esto permitiría tener información climática más robusta, especialmente para fines de siglo, y que permita caracterizar el grado de certeza de la señal climática. La información climática que actualmente se genera no permite tener una estimación adecuada de cambios en la varianza de parámetros climáticos clave, por ej. temperatura media, más bien se centra en estimaciones puntuales de agregados de largo plazo.

V. Comparación con estudio de la Economía del Cambio Climático en Chile

El estudio de la Economía del Cambio Climático en Chile (CEPAL, 2012) analizó los costos económicos asociados a distintos escenarios de cambio climático. Como resultados de ese estudio se obtuvieron costos para dos escenarios de cambio climático en los sectores Silvoagropecuario, Hidroeléctrico y de Agua potable. En este sentido el presente estudio representa un avance significativo ya que logró cuantificar los costos asociados a la inacción frente al cambio climático para mediados y fines de siglo para 8 sectores¹⁴. A pesar de que ambos estudios generan información acerca del efecto del cambio climático, estos presentan diferencias importantes, tanto metodológicas como de análisis, por lo que los resultados de las variables analizadas y de los costos calculados pueden variar.

Se debe tomar en cuenta que ambos estudios están centrados en proyecciones y, por lo tanto, no deben tomarse como un pronóstico, en el sentido que no tratan necesariamente de predecir acuciosamente lo que ocurrirá en el futuro. En relación a lo anterior, ya que las proyecciones empleadas para cada estudio son distintas, los resultados obtenidos para cada uno de los sectores no son directamente comparables. Dichas proyecciones de variables climáticas se basan en distintos modelos de circulación global y, adicional a esto, se emplearon distintos escenarios futuros.

En el estudio de CEPAL (2012) se emplearon dos escenarios alternativos con diferentes concentraciones de GEI. Por su parte, en este estudio se toma como base el escenario RCP8.5 de emisiones de GEI, pero se utilizan diversas fuentes de información climática para proyectar las distintas variables climáticas. Además de las diferencias en los escenarios y fuentes de información, el presente estudio comprende más sectores en comparación del estudio de 2012; se agregaron los sectores de Biodiversidad y Turismo, Minería, Puertos y Playas, Pesca y Acuicultura y Salud. En el Estudio de 2012,

¹⁴ Agricultura, Agua potable, Biodiversidad y Turismo en áreas protegidas, Energía, Minería, Pesca y Acuicultura, Puertos y playas y Salud.

además, se presentó una revisión de otros sectores, pero no hubo cuantificación del impacto económico proyectado. Por ejemplo, en el caso de las zonas costeras se analizó la tendencia en el nivel del mar, pero no se modelaron proyecciones ni sus efectos económicos.

A pesar que algunos sectores se encuentran en los dos estudios, estos muestran metodologías y resultados distintos. Puntualmente, en el informe de CEPAL (2012) se realizó un análisis del sector silvoagropecuario más extenso que el que se presenta en este estudio incluyendo los sectores silvícolas y pecuarios, ya que en este informe solamente se presenta información de costos relacionadas a una menor cantidad de especies agrícolas y frutícolas. En contraste el sector de Agua potable presenta un estudio más extenso, ya que no se centra solamente en una cuenca, sino realiza un análisis del uso de agua residencial en 14 regiones del país. Por último, el sector de energía en el presente estudio toma en cuenta tanto la generación de energía hidroeléctrica como los cambios en la conducción de energía debido a factores ambientales provocados por el cambio climático. Adicionalmente, el presente estudio modeló el comportamiento de la red eléctrica nacional y el despacho económico de carga, haciendo de esta manera más realistas los resultados obtenidos.

Además de las diferencias mencionadas anteriormente, los análisis realizados para cada sector de este estudio presentan distintas temporalidades. Es decir, los costos de la inacción se calcularon para diferentes periodos de tiempo en cada sector. Por ejemplo, el sector de agricultura solamente presenta un valor de costo para mediados de siglo, a diferencia de esto el sector de salud presenta resultados de los costos de forma anual hasta el año 2100. Esta es otra diferencia importante con el estudio de 2012, ya que para los tres sectores analizados se tiene información de los costos para 2030, 2050, 2070 y 2100.

Asimismo, el estudio de 2012 incluye información acerca de los costos directos e indirectos del cambio climático sobre los sectores. Si bien en aquel estudio no se describe en detalle los supuestos utilizados para obtener importantes efectos indirectos, en este estudio, no se desagregan los resultados en estas categorías. La mayoría de los sectores se centran en el cálculo de costos directos relacionados a cambios en la demanda, producción o provisión de ciertos servicios, entre otros.

En cuanto a los resultados de los informes, el estudio de 2012 muestra que el costo directo asociado al cambio climático es de USD 14.440 millones para mediados de siglo. En contraste a esto, este estudio estima que los costos de la inacción frente al cambio climático ascienden a USD 4.062 millones. Las diferencias en los montos pueden deberse a diversos factores, principalmente se puede destacar que existe una gran diferencia entre los sectores incluidos dentro de ambos estudios y el alcance dentro de cada estudio sectorial, que hace que los montos no sean comparables. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que los escenarios climáticos evaluados por ambos estudios también son distintos.

Para realizar una mejor comparación, los montos de los costos directos obtenidos en el estudio del 2012 se pueden comparar con los resultados sectoriales actuales. En el caso del sector de agricultura y fruticultura se tiene que el costo en el estudio del año 2012 es de USD 602 millones, mientras que para este estudio es de USD 429 millones. La diferencia en los montos calculados puede deberse principalmente al alcance del estudio dentro del sector, pero también a otras diferencias como las proyecciones climáticas. El estudio de 2012 contempla mayor cantidad de cultivos a comparación de los que se incluyen dentro del actual informe.

En el caso del sector de energía eléctrica en el estudio anterior se estimó un costo de USD 140 millones para el año 2050, a comparación de los USD 0,78 millones para este estudio. En este caso, la diferencia en magnitudes puede deberse a que en el presente estudio se modeló la operación de la red de generación y transmisión eléctrica. Se considera que la red está optimizada para la mayor parte del siglo, por lo que los costos operacionales no deberían aumentar significativamente cada año.

Por último, para el sector de agua potable en el estudio de 2012 se estimó un costo de USD 1,76, en contraste de los USD 229 millones estimados para este estudio. Esta diferencia en magnitud de los costos puede deberse a la escala geográfica que se toma en los dos estudios. Como se mencionó anteriormente, el estudio de 2012 solamente toma en cuenta una cuenca hidrográfica, mientras que el estudio actual considera el consumo de agua residencial para la mayor parte del territorio nacional.

Finalmente, el estudio de CEPAL (2012) calculó costos asociados al impacto del cambio climático en Chile equivalente a una pérdida promedio anual de 1,1% del PIB nacional hasta el 2100 para el escenario climático A2. Este valor sin embargo se calcula proyectando una tasa de crecimiento del PIB a una tasa promedio de 1,2% y expresándolo en valor presente al igual que los costos con distintas tasas de descuento. Por lo tanto, el resultado obtenido en ese estudio está sujeto a los supuestos utilizados respecto de estas tasas y no permite apreciar claramente la magnitud del impacto.

VI. Conclusiones

Este estudio buscó cuantificar los costos de la inacción frente al cambio climático. Los resultados indican que hay importantes costos en algunos de los sectores estudiados. No obstante, se debe tener en cuenta que en ningún caso es una estimación exhaustiva ya que no se consideraron todos los sectores susceptibles al cambio climático y ni tampoco todos los subsectores dentro de los sectores considerados. También quedaron fuera del análisis efectos del cambio climáticos que han sido identificados en otros países y que probablemente se dan en Chile, pero para los cuales no existen investigaciones que los cuantifiquen en el país. En varios sectores (salud, agricultura, agua potable y playas) los principales costos se presentan en la zona central del país, en parte debido a la concentración de la población en esa zona.

Los resultados también reflejan la resiliencia de los sectores analizados al cambio climático. Efectivamente algunos de ellos, como energía, pueden ser capaces de ajustar su operación y minimizar estos costos. En otros sectores como el de agricultura, también se ha modelado la capacidad de adaptarse a los cambios en el clima, cambiando el portfolio de cultivos. Pero pese a incorporar una capacidad de adaptación endógena de los sectores, algunos de ellos muestran importantes efectos, como en Biodiversidad por pérdida de ecosistemas, el aumento en la mortalidad por olas de calor en Salud, la reducción de rendimientos en Agricultura y la disminución en caudales en Agua potable.

Si bien varios de los estudios hacen esfuerzos para proyectar las condiciones socioeconómicas futuras, la interpretación de estos resultados no debe tomarse como una predicción de las condiciones futuras de cada uno de los sectores. Se trata más bien de un ejercicio para identificar algunos de los potenciales efectos del cambio climático en cada uno de los sectores.

Una de las principales condicionantes de este estudio fue la limitada información disponible para la modelación. En algunos casos no fue posible acceder a datos existentes que podrían haber permitido mejorar las estimaciones. En muchos otros casos la información simplemente no estaba disponible, cómo por ejemplo los efectos en sectores como el pecuario, forestal, y de acuicultura de peces. Sin duda uno de los aspectos que requiere un avance sustancial es la proyección de los recursos hídricos, especialmente la integración de fuentes superficiales y subterráneas. Otra limitante fue la información

climática para fines de siglo, el proyecto ARCLIM no generó esta información y se debió recurrir a otra fuente que no siguió la misma metodología y entrega resultados menos robustos, por lo que se sugiere igualmente robustecer las proyecciones en ARCLIM.

Un estudio futuro que actualice estos resultados debiera partir por diseñar la metodología e ir identificando las modelaciones claves necesarias para poder cuantificar los costos. En este sentido se precisa una agenda de investigación, con múltiples proyectos, que permita ir generando información para iluminar los distintos efectos y reducir las incertidumbres en los resultados. Esto permitiría tener información climática más robusta, especialmente para fines de siglo, y que permita caracterizar el grado de certeza de la señal climática. La información climática que actualmente se genera no permite tener una estimación adecuada de cambios en la varianza de parámetros climáticos clave, por ej. temperatura media, más bien se centra en estimaciones puntuales de agregados de largo plazo. También se necesita avanzar en la modelación de las consecuencias hidrológicas del cambio climático incluyendo los efectos en aguas subterráneas, información clave para el sector agrícola, minero y de agua potable. Existe muy poca evidencia respecto de los efectos del cambio climático en la aparición de vectores y enfermedades, tanto para la salud humana, como para las especies productivas (ganado, acuicultura, cultivos) y de sistemas naturales. Los efectos de cambios hidro-climáticos en el sector silvoagropecuario son muy limitados a unas pocas especies y no incorporan efectos en la disponibilidad de riego. Entender y cuantificar estos efectos es el punto de partida para diseñar medidas de adaptación que sean efectivas en reducir los costos de la inacción del cambio climático en Chile.

Bibliografía

- ARCLIM. (2020). ARCLIM: Atlas de Riesgos Climáticos. Geraud, R., Meza, F., Bustos, Susana., Pica, A., Falvey, M., Silva, I. et al. MMA, CR2, CCG-UC. <https://arclim.mma.gob.cl/about/>.
- Arent, D. J., Tol, R. S., Faust, E., Hella, J. P., Kumar, S., Strzepek, K. M., Bosello, F., Chinowsky, P., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Kopp, R., Ruiz Fernandez, S., Sandhoevel, A., Ngeh, J., Tol, R., Faust, E., Hella, J., Kumar, S., Strzepek, K., ... MacCracken, S. (2014). *10 — Key Economic Sectors and Services*.
- Arrow, K. J., Cropper, M. L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G. M., Newell, R. G., Nordhaus, W. D., Pindyck, R. S., Pizer, W. A., Portney, P. R., Sterner, T., Tol, R. S. J., & Weitzman, M. L. (2013). How Should Benefits and Costs Be Discounted in an Intergenerational Context? The Views of an Expert Panel. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2199511>.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (2015). *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: Synthesis of knowledge, adaptation and mitigation options*.
- Barnett, J., & O'Neill, S. J. (2012). Islands, resettlement and adaptation. *Nature Climate Change*. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nclimate1334>.
- Butler, E. E., & Huybers, P. (2013). Adaptation of US maize to temperature variations. *Nature Climate Change*, 3(1), 68–72. <https://doi.org/10.1038/nclimate1585>.
- Cai, W. et al. (2014). Increasing Frequency of Extreme El Niño Events due to Greenhouse Warming. *Nature Climate Change* 4(2) : DOI: 10.1038/NCLIMATE2100.
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., . & McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, 564(7735), 201-206.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2020). Simulaciones Regionales RegCM4. Retrieved from: <http://www.cr2.cl/simulaciones-regionales-regcm4/>.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2018). "Simulaciones climáticas regionales" de proyecto "Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad" mandatado por el Ministerio del Medio Ambiente.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), (2015), Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: dinámicas, tendencias y variabilidad climática.
- _____ (2012), La Economía del Cambio Climático en Chile. In Naciones Unidas. CEPAL.
- _____ (2009), La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Síntesis 2009 (LC/G.2425), Santiago de Chile, noviembre.

- Cerda, C. & Melo, O. (2019). Valoración económica de servicios ecosistémicos y biodiversidad en Chile: conceptuales y experiencias en investigación. In C. Cerda, Silva-Rodríguez, E. & Briceño (Ed.), *Naturaleza en sociedad una mirada a la dimensión humana de la conservación de la biodiversidad* (pp. 143-176). Editorial Ocho Libros Spa. https://www.researchgate.net/publication/330576017_Valoracion_economica_de_servicios_ecosistemicos_y_biodiversidad_en_Chile_marcos_conceptuales_y_experiencias_en_investigacion.
- Chamorro, J., C. Gamboni, A. Valdés. (2021). Estimación de los ingresos fiscales en el largo plazo 2020-2060. Estudios de Finanzas Públicas 2021/17. Dirección de Presupuestos, Ministerio de Hacienda.
- Champ, P. A., Boyle, K. J., & Brown, T. C. (2003). *A Primer on Nonmarket Valuation*. Springer Netherlands.
- Cochilco (2020), Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2000-2019. Comisión Chilena del Cobre, Santiago de Chile.
- Dasgupta, P. (2007), The Stern Review's economics of climate change. *National Institute Economic Review*, 199(1), 4-7. <https://doi.org/10.1177/0027950107077111>.
- Dirección General de Aguas (DGA), (2017). Actualización Balance Hídrico Nacional. Realizado por Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N°417. Santiago, Chile.
- Disen, G.-R. A. (n.d.). *Disentangling the social, macro and microeconomic effects of agricultural droughts: An application to Spanish irrigated agriculture*. Retrieved August 17, 2017, from <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=801340>.
- European Environmental Agency (EEA). (2007). Climate Change: The Cost of Inaction and the Cost of Adaptation. EEA Technical Report No. 13/2007, European Environmental Agency (EEA), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Luxembourg, 67 pp.
- Fernández, F. J., Blanco, M., Ponce, R. D., Vásquez-Lavín, F., & Roco, L. (2019). Implications of climate change for semi-arid dualistic agriculture: a case study in Central Chile. *Regional Environmental Change*, 19(1), 89-100. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1380-0>.
- Fernández, F. J., Ponce, R. D., Blanco, M., Rivera, D., & Vásquez, F. (2016). Water Variability and the Economic Impacts on Small-Scale Farmers. A Farm Risk-Based Integrated Modelling Approach. *Water Resources Management*, 30(4), 1357-1373. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1227-8>.
- Gollier, C. and Weitzman, M. L. (2010). "How Should the Distant Future Be Discounted When Discount Rates Are Uncertain?" *Economics Letters* 107 (3): 350-53.
- Goulder, L., & Pizer, W. (2006). *The Economics of Climate Change*. <https://doi.org/10.3386/w11923>.
- GreenLab. (2020), Actualización de tasas de incidencia base de mortalidad y morbilidad para contaminación atmosférica y creación de un modelo automático para la actualización. Retrieved from <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=8484a611-8fa9-4695-acea-c847e7b828co&fname=200221-ATICA2-InformeFinal.pdf&access=public>.
- Heal, G. M. (2009), "The Economics of Climate Change: A Post-Stern Perspective." *Climatic Change* 96 (3): 275-97.
- INE. (2007). Censo Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística.
- Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases (IWG-SCC). (2016), Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. August. United States Government. Available at: <https://www.whitehouse.gov/omb/information-regulatory-affairs/regulatory-matters/#scghgs>.
- Interagency Working Group on Social Cost of Carbon (IWG-SCC). (2010). Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis under Executive Order 12866. February. United States Government. <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/for-agencies/Social-Cost-ofCarbon-for-RIA.pdf>.
- IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

- 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.
- Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W. (Vic), Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., Hanemann, W. M., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R., & Vossler, C. A. (2017). Contemporary Guidance for Stated Preference Studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), 319–405. <https://doi.org/10.1086/691697>.
- Karfakis, P., Lipper, L., & Smulders, M. (2012). The assessment of the socioeconomic impacts of climate change at household level and policy implications. Building Resilience for Adaptation to Climate Change in the Agriculture Sector. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop, Rome, Italy, 23-24 April 2012, 133–150.
- Lam, V. W. Y., Cheung, W. W. L., Reygondeau, G., & Rashid Sumaila, U. (2016). Projected change in global fisheries revenues under climate change. *Scientific Reports*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep32607>.
- Luebert, F. y P. Pliscoff (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago: Universitaria.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2017). *Estimación del Precio Social del CO₂*.
- Ministerio de Desarrollo Social. (MIDESOC), (2014). *Estimación de la tasa social de descuento en el largo plazo en el marco del Sistema Nacional de Inversiones*. Mayo 2014.
- Ministerio de Energía. (2019). Planificación energética de Largo Plazo: Informe de Actualización de Antecedentes - Periodo 2018-2022.
- MMA. (2020), Climate Change Risk Maps for Chile. Retrieved from Santiago, Chile.
- MOP, 2018. Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de la Macrozonas Norte y Centro. Retrieved from <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH585ov1.pdf>.
- MOP, 2019. Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de la Macrozona Sur y Parte Norte de la Macrozona Austral. Retrieved from <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5878v2.pdf>.
- Monsalves-Gavilán, P., Pincheira-Ulbrich, J., & Rojo Mendoza, F. (2013). Climate change and its effects on urban spaces in Chile: A summary of research carried out in the period 2000-2012. *Atmósfera*, 26(4), 547–566. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71095-6](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71095-6).
- Moore, F. C., Baldos, U. L. C., & Hertel, T. (2017). Economic impacts of climate change on agriculture: a comparison of process-based and statistical yield models. *Environmental Research Letters*, 12(6), 065008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6eb2>.
- National Academies of Sciences, E. and M. (2017). Valuing climate damages: Updating estimation of the social cost of carbon dioxide. In *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24651>.
- Nordhaus, W. D. (2007). A Review of the *Stern Review on the Economics of Climate Change*. *Journal of Economic Literature*, 45(3), 686–702. <https://doi.org/10.1257/jel.45.3.686>.
- ODEPA. (2010). *Estimación del Impacto Socioeconómico del Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile*. 154.
- Parsons, G. R., Chen, Z., Hidrue, M. K., Standing, N., & Lilley, J. (2013). Valuing beach width for recreational use: Combining revealed and stated preference data. *Marine Resource Economics*, 28(3), 221–241. <https://doi.org/10.5950/0738-1360-28.3.221>.
- Peña-Torres, J., Dresdner, J., & Vasquez, F. (2017). El Niño and Fishing Location Decisions: The Chilean Straddling Jack Mackerel Fishery. *Marine Resource Economics*, 32(3), 249–275.
- Ponce, R., Blanco, M., & Giupponi, C. (2014). The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector. A non-linear agricultural supply model. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(4), 404–412. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000400005>.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33–57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>.
- Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., & Tavoni, M. (2018). Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change*, 8(10), 895–900. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>.

- Rosende, C., Sauma, E., & Harrison, G. P. (2019). Effect of Climate Change on wind speed and its impact on optimal power system expansion planning: The case of Chile. *Energy Economics*, 80, 434–451. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.01.012>.
- San Martín, V. A., Gelcich, S., Lavín, F. V., Oliva, R. D. P., Hernández, J. I., Lagos, N. A., & Vargas, C. A. (2019). Linking social preferences and ocean acidification impacts in mussel aquaculture. *Scientific reports*, 9(1), 1–9.
- Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41(1), 1–14. <https://doi.org/10.3354/croo836>.
- Stern, N. (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, enero.
- Tol, R. S. J. (2006). The Stern Review of the Economics of Climate Change: A Comment. *Energy & Environment*, 17(6), 977–981. <https://doi.org/10.1260/095830506779398911>.
- Vousdoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L. et al. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nat. Clim. Chang.* 10, 260–263. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.
- Weitzman, M. L. (2007). A review of the Stern Review on the economics of climate change. In *Journal of Economic Literature* (Vol. 45, Issue 3, pp. 703–724). <https://doi.org/10.1257/jel.45.3.703>.
- Winckler, P., Esparza, C., Mora, J., Melo, O., Bambach, N., Contreras-López, M., & Sactic, M. I. (2022). Impacts in ports on a tectonically active coast for climate-driven projections under the RCP 8.5 scenario: 7 Chilean ports under scrutiny. *Coastal Engineering Journal*, 1–19.
- Winckler, P., Esparza, C., Mora, J., Agredano, R., Contreras-López, M., Larraguibel, C., Melo, O. Contreras (2022). Impactos del cambio climático en las costas de Chile. En *GeoLibro "Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Litorales"*. Martínez, C., Cienfuegos, R. Barragán, J. M., Hidalgo, R. Arenas, F. y Fuentes, L. (eds). Serie GEOLibro N°38, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Winckler, P. (2020). Towards a multi-hazard analysis of infrastructure in a seismic coast subjected to climate change, with a focus on the Chilean coastline. *Proceedings of the 8th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures (ISHS2020)*, 12–15 May 2020, Santiago, Chile. (Indexado SCOPUS).
- Yáñez, E., Plaza, F., Sánchez, F., Silva, C., Barbieri, M. Á., & Bohm, G. (2017). Modelling climate change impacts on anchovy and sardine landings in northern Chile using ANNs. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(4), 675–689. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue4-fulltext-4>.

En este documento se presenta una síntesis de la cuantificación de los costos de la inacción, hacia mediados y fines de siglo, frente a una trayectoria de concentración de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) representativa alta (RCP 8,5) en Chile, en ocho sectores económicos y ámbitos clave del país: agricultura, agua potable, biodiversidad, energía, minería, pesca y acuicultura, puertos y playas, y salud. Además del cálculo de costos, para algunos sectores se identifican políticas o programas estatales que impactan en los efectos del cambio climático, generando diferentes grados en el avance requerido para la adaptación y mitigación. Se incluyen aspectos metodológicos generales, se describe el enfoque para la medición de los costos económicos de la inacción y se presentan los costos de la inacción de cada sector. Los resultados indican que los costos son altos en algunos de los sectores estudiados. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la estimación no es exhaustiva, ya que no se consideraron todos los sectores susceptibles al cambio climático. En varios sectores (salud, agricultura, agua potable y playas) los principales costos se presentan en la zona central del país, en parte debido a la concentración de la población en esa zona.

