

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE



NACIONES UNIDAS

CEPAL



GOBIERNO DE CHILE

LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE

SÍNTESIS

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva

Antonio Prado
Secretario Ejecutivo Adjunto

Joseluis Samaniego
Director
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos

Susana Malchik
Oficial a cargo
División de Documentos y Publicaciones

Los montos que se indican en dólares corresponden a la denominación en dólares de los Estados Unidos. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los funcionarios y consultores que colaboraron en él y pueden no coincidir con las de la Organización.

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

La elaboración de las figuras y cuadros que aparecen en esta publicación estuvo a cargo de los autores, salvo que se indique otra cosa.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/W.288

Copyright © Naciones Unidas, noviembre de 2009. Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

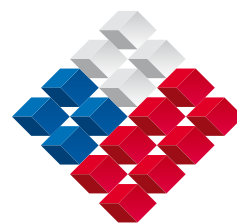
LA ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE

Síntesis



NACIONES UNIDAS

CEPAL



GOBIERNO DE CHILE

Coordinador en Chile:

Sebastián Vicuña, Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile

Equipo coordinador:

Francisco Meza, Luis Cifuentes, Juan Carlos Castilla, Juan Carlos Covarrubias

Colaboradores temáticos:

Proyecciones Climáticas Futuras y Análisis de Incertidumbre: Maisa Rojas
 Impactos en los Recursos Hídricos: Ximena Vargas, James McPhee, Oscar Melo, Gustavo Lagos y Bonifacio Fernández
 Impactos en el Sector Silvoagropecuario: Fernando Santibáñez, Oscar Melo, Rafael Larrain y Francisco Meza
 Impactos en la Biodiversidad: Pablo Marquet
 Impactos en los Recursos Pesqueros: Juan Carlos Castilla
 Impactos por el Alza del Nivel del Mar: Patricio Winckler y Rodrigo Cienfuegos
 Impactos en la Salud: Luis Cifuentes
 Integración de Impactos Económicos: Guillermo Donoso
 Escenarios de Mitigación: Luis Cifuentes y Enzo Sauma

Equipo CEPAL:

Joseluis Samaniego, Director, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
 Carlos de Miguel, Oficial de Asuntos Ambientales, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
 José Javier Gómez, Oficial de Asuntos Económicos, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
 Luis Miguel Galindo, Experto, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
 Karina Martínez, Consultora, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
 Oscar Cetrángolo, Experto en Políticas Públicas, Oficina de la CEPAL en Buenos Aires

Panel Asesor Nacional

Claudia Ferreiro, Comisión Nacional del Medio Ambiente
 David Noe, Ministerio de Hacienda

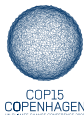
Panel Asesor Internacional

Daniel Bouille, Asesor en mitigación
 Graciela Magrin, Asesora en adaptación
 Gustavo Nagy, Asesor en adaptación
 José Marengo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
 Lincoln Muniz, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Comité Consultivo:

Catalina Bau, Corporación Nacional Forestal
 Jaime Bravo, Comisión Nacional de Energía
 Juan Escudero, Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente y Territorio-Ministerio de Obras Públicas
 Carolina Gutiérrez, Dirección de Obras Portuarias
 Claudio Huepe, Comisión Nacional de Energía
 Juan Ladrón de Guevara, Ministerio de Economía
 André Laroze, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura
 Jenny Maturana, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
 Aquiles Neuenschwander, Fundación para la Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura
 Sarita Pimentel, Comisión Chilena del Cobre
 Pedro Rivera, Dirección General de Aguas
 Andrés Romero, Comisión Nacional de Energía
 Pablo Salgado, Secretaría de Planificación de Transporte
 Álvaro Sapag, Comisión Nacional del Medio Ambiente
 Rodrigo Terc, Ministerio de Hacienda
 Vivian Villagrán, Ministerio de Obras Públicas
 Gabriel Zamorano, Superintendencia de Servicios Sanitarios
 Ana Zuñiga, Comisión Chilena del Cobre

Este estudio fue posible gracias a la colaboración de:



Índice

Prólogo	9
Introducción	13
1. El cambio climático en Chile	15
1.1 Climatología actual y tendencias	15
1.2 Eventos extremos	16
1.3 Proyecciones climáticas futuras	16
2. Los escenarios socioeconómicos de Chile	23
3. La metodología del análisis económico del cambio climático	25
3.1 Impactos y adaptación	25
3.2 Mitigación	25
3.3 Efectos interrelacionados	25
3.4 Metodología del análisis económico del impacto del cambio climático en Chile	26
4. Impactos económicos y sociales asociados al cambio climático en Chile	29
4.1 Recursos hídricos	29
4.1.2 Impactos en la disponibilidad de agua para riego	31
4.1.3 Impactos en la generación hidroeléctrica	31
4.1.4 Impactos en los sectores sanitario e industrial	34
4.1.5 Impactos en el sector minero	36
4.2 Sector silvoagropecuario	39
4.2.1 Impacto en la calidad de los suelos	39
4.2.2 Impacto en la productividad	40
4.2.3 Reasignación del uso del suelo silvoagropecuario: impactos económicos y en la mano de obra	44
4.2.4 Impacto en ocurrencia de plagas y enfermedades	50
4.3 La biodiversidad y los ecosistemas	50
4.4 Los recursos costeros y el aumento del nivel de mar	52
4.4.1 Los recursos pesqueros y acuícolas	52
4.4.2 El aumento del nivel del mar	52
4.5 La salud	53

4.6 La demanda de energía.....	53
4.7 Las tendencias de los eventos extremos.....	53
4.8 La infraestructura	54
4.9 La agregación de los impactos	54
5. Medidas de adaptación a los impactos del cambio climático en Chile.....	61
5.1 Introducción al análisis de la adaptación a los impactos del cambio climático	61
5.2 Los recursos hídricos.....	62
5.3 El sector silvoagropecuario	63
5.4 La biodiversidad y los ecosistemas.....	63
5.5 La infraestructura	64
6. Emisión y mitigación de gases de efecto invernadero en Chile	65
6.1 Emisiones históricas de gases de efecto invernadero	65
6.2 Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero para el período 2009-2030...	66
6.2.1 Sector energético	66
6.2.2 Sectores no energéticos	69
6.2.3 Línea base nacional	70
6.3 Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile	70
6.3.1 Sector energético	70
6.3.2 Discusión sobre costos de mitigación	75
6.3.3 Cobeneficios ambientales de mitigación en el sector energético	76
6.3.4 Mitigación de emisiones para sectores no energéticos	78
7. Síntesis de la evaluación económica del cambio climático en el país	79
8. Estrategias de cambio climático en el país	81
8.1 Política nacional de cambio climático	81
8.2 Iniciativas locales	82
9. Conclusiones y recomendaciones de política	83
Bibliografía	87

Índice de figuras

Figura A: Proyecciones climáticas a nivel global	14
Figura 1.1: Chile: proyecciones de temperatura para el escenario A2	17
Figura 1.2: Chile: proyecciones de temperatura para el escenario B2	18
Figura 1.3: Chile: proyecciones de precipitación para el escenario A2	19
Figura 1.4: Chile: proyecciones de precipitación para el escenario B2	20
Figura 1.5: Chile: resumen de proyecciones de precipitación por región del país	21
Figura 2.1: Chile: aporte al PIB de los diferentes sectores de la economía, 2003-2007	23
Figura 2.2: Chile: proyección de crecimiento del producto interno bruto per cápita, 2000-2100.....	24
Figura 3.1: Chile: esquema metodológico de análisis de la economía del cambio climático	27
Figura 4.1: Chile: condiciones hidrológicas futuras en la subcuenca afluente a embalse melado del sistema maule alto de acuerdo al escenario A2, presentándose también el caudal histórico observado para el período 1976-2000	32
Figura 4.2: Chile: oferta de agua (asociada a escenario A2) para la empresa Aguas Andinas en la Región Metropolitana.....	35
Figura 4.3: Chile: ubicación de las minas seleccionadas	37
Figura 4.4: Chile: cambios en la productividad en el período intermedio para trigo en seco, vides, praderas naturales y pino radiata para el escenario A2	42
Figura 4.5: Chile: cambios en los ingresos netos del sector silvoagropecuario para el escenario A2	48

Figura 4.6: Chile: cambios en la demanda de mano de obra en el sector silvoagropecuario para el escenario A2.....	50
Figura 4.7: Chile: representación esquemática de los impactos del cambio climático y su relación con las proyecciones climáticas futuras.....	56
Figura 6.1: Chile: emisiones de gei totales para el período 1984-2008, por sector	66
Figura 6.2: Chile: cambios en la composición de la matriz de generación eléctrica de acuerdo con la situación base a 2009 y escenarios a 2030	68
Figura 6.3: Chile: evolución de emisiones de gei en el sector energético para el escenario base	69
Figura 6.4: Chile: proyección de emisión de gases de efecto invernadero, por sector, 2009-2030.....	70
Figura 6.5: Chile: emisiones de gei con y sin inclusión del aporte de acciones tempranas ...	72
Figura 6.6: Chile: potencial de reducción en el sector de la energía en los distintos escenarios de mitigación	74

Índice de cuadros

Cuadro 4.1: Chile: generación hidroeléctrica histórica y futura (escenario A2) en la hoya intermedia del sistema laja	33
Cuadro 4.2: Chile: proyecciones de variación del potencial de generación hidroeléctrico del sic - escenarios A2 y B2 (valores en gwh).....	33
Cuadro 4.3: Chile: impactos asociados al cambio climático (escenarios A2 y B2) en la generación hidroeléctrica	34
Cuadro 4.4: Chile: impactos asociados al cambio climático (escenarios A2 y B2) en el sector sanitario de la Región Metropolitana de Santiago	36
Cuadro 4.5: Chile: cambios climáticos y de disponibilidad hidrológica en cuencas donde se desarrollan actividades mineras	39
Cuadro 4.6: Chile: superficie dedicada a cultivos según el escenario de cambio climático	45
Cuadro 4.7: Chile: superficie dedicada a frutales según el escenario de cambio climático	46
Cuadro 4.8: Chile: superficie dedicada a praderas naturales según el escenario de cambio climático	46
Cuadro 4.9: Chile: superficie dedicada a plantaciones forestales según el escenario de cambio climático	47
Cuadro 4.10: Chile: ingresos netos por región	48
Cuadro 4.11: Chile: requerimiento de mano de obra	49
Cuadro 4.12: Chile: resumen de los impactos sectoriales del cambio climático	55
Cuadro 4.13: Chile: agregación de los costos económicos del cambio climático hasta 2050 ..	58
Cuadro 4.14: Chile: agregación de los costos económicos del cambio climático hasta 2100 ..	59
Cuadro 4.15: Chile: agregación de costos económicos del cambio climático, 2050 y 2100	60
Cuadro 5.1: Chile: valores de habilitación de una red de áreas protegidas necesaria para conservar parte de la biodiversidad que se pierde producto del cambio climático en la ecoregión valdiviana en los escenarios A2 y B2.....	64
Cuadro 6.1: Chile: escenarios de mitigación considerados	72
Cuadro 6.2: Chile: comparación de emisiones de gases de efecto invernadero en diferentes escenarios y métricas	75
Cuadro 6.3: Chile: valor actual neto de los costos de mitigación en el sector de la energía asumiendo que los costos marginales corresponden al precio de transacciones de créditos de carbono	76
Cuadro 6.4: Chile: resumen de indicadores de emisiones y cobeneficios ambientales para centrales a carbón planificadas y existentes en el sic/sing	77
Cuadro 7.1: Chile: síntesis de los costos económicos acumulados del cambio climático (no incluye todos los sectores productivos)	80

Prólogo

El objetivo de este estudio es analizar el efecto económico que pueda tener el cambio climático en Chile en los próximos 100 años. En este marco, se evalúan económicamente los impactos potenciales del cambio climático, se estudian las opciones de adaptación, se analizan las proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las opciones de mitigación en Chile.

El estudio de la economía del cambio climático en Chile expresa el compromiso que tanto el Gobierno de Chile como la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) tienen respecto de este tema. La CEPAL ha estado a cargo de la coordinación técnica de esta iniciativa a escala latinoamericana y caribeña, manteniéndose el estudio de Chile dentro de los mismos lineamientos técnicos y organizativos que el resto de países que integran el proceso. El Gobierno de Chile, a través de su panel asesor y el Comité Consultivo creado al efecto, ha apoyado con su conocimiento y experiencia al equipo coordinador del estudio.

La evaluación de los impactos del cambio climático supone establecer escenarios climáticos futuros, que fueron tomados de un modelo de clima global que consideró dos escenarios de emisión de GEI hasta 2100, definidos como A2 y B2 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). El escenario A2 se refiere a una economía internacional dinámica con un uso intensivo de combustibles fósiles, que genera un aumento de concentraciones de GEI en la atmósfera con valores muy superiores a los actuales, lo que incide en alzas en los niveles de temperatura, cambios en los patrones de precipitación, aumento en el nivel medio del mar y mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos. En el escenario B2 habría una menor concentración de GEI y, por ende, un menor nivel de impacto asociado al calentamiento global.

Los resultados que se presentan en este trabajo tienen que tomarse en su justa medida, es decir, como el resultado de un análisis sobre la base de escenarios y, por lo tanto, no deben considerarse un pronóstico de la situación del país en los próximos 100 años.

Los escenarios climáticos usados en la evaluación nos indican de manera bastante consistente que el promedio de la temperatura en el país aumentaría aproximadamente 1°C en los próximos 30 años, entre 1°C y 2°C en un período intermedio (2040-2070), llegando a un aumento de entre 3°C y 4°C a finales del siglo. Con respecto a la precipitación, los escenarios muestran, también de manera muy clara, una reducción de las precipitaciones anuales (en torno al 30% a finales de siglo) en Chile central (entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos). En el extremo norte del país (regiones de

Arica a Atacama) la situación es más ambigua, sin que la tendencia esperada sea muy clara. Por otra parte, en el extremo austral (Región de Magallanes) los modelos indicarían un aumento progresivo de los niveles de precipitación. Finalmente, la Región de Aysén se ubica en una zona de transición, donde no se espera que haya grandes cambios con respecto a la situación actual.

Se ha llevado a cabo una evaluación económica de los efectos potenciales del cambio climático sobre los sectores silvoagropecuario, hidroeléctrico y de agua potable. A partir de los resultados en los últimos dos sectores se proyectan disminuciones importantes en la disponibilidad de recursos hídricos, lo que implica costos económicos asociados. En el caso del sector hidroeléctrico estos costos están asociados a la necesidad de generar electricidad de manera más costosa. En el caso del sector de agua potable se ha llevado a cabo una evaluación de los impactos en la cuenca del Río Maipo donde se encuentra ubicada la ciudad de Santiago. Los impactos económicos en este caso se han evaluado considerando el costo de aumentar la dotación de agua para abastecer la demanda de la población. No se han incluido en esta oportunidad otros costos potenciales asociados a cambios estructurales.

Con respecto al sector silvoagropecuario la situación es más heterogénea. Para algunos tipos de cultivos y regiones, donde el factor limitante para el desarrollo es la baja temperatura, se proyectan importantes aumentos de la productividad (sur de Chile). Para otros cultivos y regiones del país, donde el factor limitante está más asociado a la disponibilidad de agua (ya sea de lluvia o riego), se proyectan importantes disminuciones de la productividad (por ejemplo, frutales en el centro y norte del país). Estos cambios en la productividad deberían crear los incentivos para reordenar el patrón de uso de la tierra agrícola y, por ende, disminuir (a través de la adaptación) los impactos esperados.

Los impactos económicos en todos estos sectores han sido agregados para obtener cifras netas para Chile. Cabe destacar que en este proceso de agregación no es posible identificar quiénes son los ganadores y perdedores en estas proyecciones. En términos absolutos, la agregación del valor presente de impactos indica que, para el escenario A2 de mayores emisiones, habría un costo que fluctúa entre 22.000 millones y 320.000 millones de dólares. Con respecto al escenario de menores emisiones, la situación es más ambigua ya que los resultados indican un rango que fluctúa entre un beneficio neto de 25.000 millones de dólares a un costo de 40.000 mil millones de dólares. Las diferencias están dadas por el escenario de GEI usado (los impactos más negativos se dan con el escenario de mayor emisión de GEI), por la tasa de descuento usada en la valoración a valor presente y por el horizonte de la evaluación. Estos costos indican que Chile podría llegar a perder un 1,1% anual del PIB durante todo el período de análisis, es decir, hasta 2100, en el escenario A2. En el caso del escenario B2, se presentaría desde una pérdida anual del 0,5% en la proyección hasta 2050, hasta una ganancia anual del 0,09% en la proyección hasta 2100.

Las proyecciones para Chile indican un aumento sostenido en la emisión de GEI, que señalaría que en 2030 se contaría con un nivel de emisiones 2,5 veces superior al actual. Es posible, sin embargo, considerar la existencia de una serie de medidas tendientes a reducir las emisiones de GEI. Algunas de ellas se asocian a una reducción de la demanda de energía, así como a la eficiencia energética. También existen otras medidas cuyo objetivo es reducir el contenido de carbón en las fuentes de abastecimiento, como potenciar las fuentes de generación eléctrica de tipo renovable. Una evaluación de estos potenciales escenarios de mitigación indica que es factible reducir el crecimiento de las emisiones en torno a un 30% en los próximos 20 años con respecto a la línea base, aunque no ha sido posible establecer en esta oportunidad los costos asociados a estas medidas.

La evaluación de los impactos del cambio climático es muy útil para entender las vulnerabilidades relativas, por cuanto provee información vital para diseñar programas de adaptación de acuerdo a las necesidades de cada región y sector productivo. Nos ayuda a observar, además, que

el desarrollo que ha tenido el país y sus proyecciones de desarrollo a futuro tiene costos importantes en materia de emisiones de GEI. Estas proyecciones indican un acoplamiento entre las emisiones y el nivel de desarrollo de la economía. Para lograr un desacople, y así contribuir a la disminución de las causas del cambio climático, es posible adoptar una serie de medidas que contribuyan a disminuir la demanda de energía y el contenido de carbón en los combustibles. Estas medidas tienen un costo asociado y, por lo tanto, suponen un esfuerzo político y fiscal importante que el país tendría que realizar para llevarlas a cabo.

El cambio climático presenta una serie de desafíos para Chile, que tienen que resolverse a través del aporte de la sociedad en su conjunto. El sector privado, el sector público, la ciudadanía y el sector académico tienen un papel que cumplir para lograr un mejor futuro para el país y el planeta. El Gobierno de Chile y la CEPAL reiteran su compromiso de seguir profundizando en esta investigación y desarrollar el conocimiento necesario para que todos los actores puedan tomar decisiones más informadas, tanto para contribuir a la prevención del cambio climático como para reducir sus consecuencias adversas sobre los ciudadanos de Chile.

Alicia Bárcena

Secretaria Ejecutiva
Comisión Económica
para América Latina
y el Caribe (CEPAL)

Ana Lya Uriarte

Ministra de Medio Ambiente
Gobierno de Chile

Introducción

De acuerdo con las últimas conclusiones a que han llegado los científicos a nivel mundial, el calentamiento global es evidente y distinguible de la variabilidad natural que tiene el clima, y también es evidente el aporte del hombre a este proceso. Todo esto ha quedado claramente postulado en el último informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), presentado en 2007 a la comunidad internacional. Las dos principales fuentes a través de las cuales el hombre contribuye al cambio climático son la quema de combustibles fósiles y los procesos de deforestación. Mediante la primera se aumenta la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, en particular de dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero de origen humano; mediante la segunda se emite el carbono capturado en la biomasa forestal.

En el informe del IPCC (2007) se presentan los resultados de las proyecciones climáticas para el futuro, que se realizan utilizando modelos computacionales que simulan el clima a nivel global utilizando como base diferentes escenarios de emisión de GEI. Estos escenarios se construyen de acuerdo a diferentes visiones del nivel de desarrollo de la población y la economía y se clasifican en distintas familias de acuerdo al nivel de intensidad de emisión de GEI a la que están asociados. En este sentido, se distinguen los escenarios tipo A, con un mayor nivel de emisiones que los escenarios tipo B. La figura A, tomada del informe del IPCC, presenta, por una parte, los distintos escenarios de emisión de GEI, así como también las proyecciones de cambio en las temperaturas y precipitaciones del planeta. Se desprende de esta figura que:

- En todos los escenarios y regiones se proyectan aumentos de temperatura. Sin embargo, estos son más evidentes en períodos más tardíos y en escenarios con mayor concentración de GEI en la atmósfera.
- Pese a lo anterior, se presentan diferencias regionales con respecto a la proyección de impactos, especialmente entre distintas latitudes y entre zonas continentales y oceánicas.
- Con respecto a la precipitación, las proyecciones son más ambiguas existiendo zonas donde se proyectaría un aumento y otras donde se proyectaría una disminución de esta variable.

Informes como el IPCC (2007) o el informe Stern (2007) han sido una muy buena contribución para entender los impactos del cambio climático a nivel global. Incluso a nivel regional han brindado información relevante, sin embargo, es escasa la información disponible a nivel local o de cada país. El presente estudio se inserta en este marco, contribuyendo a la información disponible sobre impactos físicos y económicos del cambio climático en Chile, y se basa en el

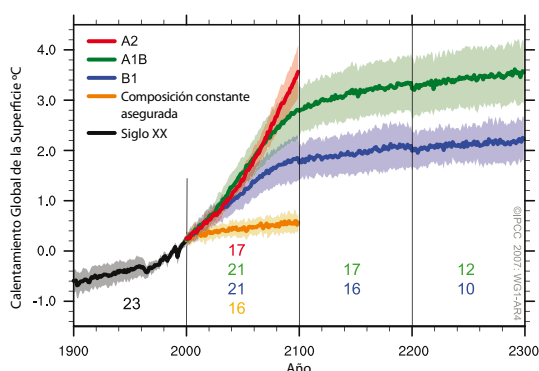
esfuerzo de un número importante de investigadores y en la experiencia acumulada en el país, que se traduce en trabajos previos como el “Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI”, realizado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para la CONAMA (2007) y la “Primera comunicación nacional de Chile” para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC).

En este trabajo se ha llevado a cabo una evaluación de los impactos físicos y económicos en una serie de sectores productivos del país. Estos impactos se han evaluado sobre la base de las proyecciones climáticas (temperatura y precipitación) tomadas de los resultados del modelo de clima global de la Oficina Meteorológica de Inglaterra (el modelo HadCM3), considerando dos escenarios de emisión de GEI, el severo A2 y el más leve B2. La evaluación económica de estos impactos considera en algunos casos la introducción de una reacción que es intrínseca de los actores económicos que actúan de acuerdo a los cambios climáticos que perciben. Se reconoce, sin embargo, que en algunos casos, para lograr mitigar los impactos que se proyectan, es necesario contar con medidas de adaptación planificadas desde la perspectiva de las políticas públicas.

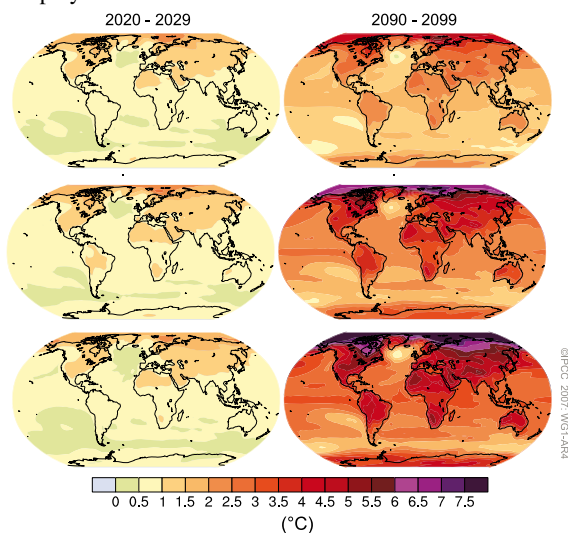
La evaluación económica de impactos se realiza tomando en cuenta la proyección de las futuras condiciones socioeconómicas en el país. Desde el punto de vista de las causas del cambio climático se reconoce a la vez que, asociados a estos escenarios de desarrollo económico, existen escenarios de emisión de GEI para el país. Estos escenarios son analizados en un capítulo especial del informe. En este se describen las estimaciones sobre la contribución de Chile a las emisiones de GEI, incluyendo escenarios alternativos de mitigación.

FIGURA A PROYECCIONES CLIMÁTICAS A NIVEL GLOBAL

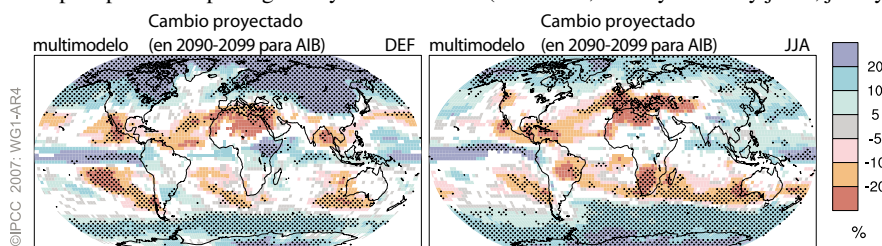
a) Cambio medio de la temperatura global



b) Cambio de temperatura por regiones para dos períodos de tiempo y tres escenarios de GEI



c) Cambio porcentual en precipitaciones por regiones y dos estaciones (diciembre, enero y febrero y junio, julio y agosto).



1. El cambio climático en Chile

1.1 Climatología actual y tendencias

Chile se caracteriza por la existencia y manifestación de una extensa variedad de climas que se ven alterados por numerosos factores ambientales, imprimiéndole características muy peculiares a la climatología del país. No obstante, en términos generales se puede afirmar que el territorio nacional presenta rasgos de clima templado, con algunas variaciones esenciales. Las variedades climáticas más importantes se producen fundamentalmente por efecto de la latitud y la altura, dando origen a los sistemas climáticos desértico, tropical, subtropical, templado y polar, principalmente.

La influencia oceánica es un poderoso agente modulador de la amplitud térmica en la zona costera del país. Debido a ella, las temperaturas presentan una leve oscilación en relación a la variación en la latitud, presentando valores medios anuales que fluctúan entre 6°C en el extremo austral, 15°C en la costa central y 17°C en el extremo norte. En cambio, en las zonas de menor influencia costera, la variabilidad y oscilación térmica tienden a ser mayores, observándose un ciclo anual de temperaturas que sigue el patrón estacional de la declinación solar y generándose meses invernales fríos y veranos cálidos. Estudios recientes han mostrado algunas tendencias históricas de cambios en la temperatura del país que manifiestan una tendencia a la baja en el océano y en la costa, mientras que en el valle central, y especialmente en la cordillera, esta tendencia ha sido al alza (Falvey y Garreaud, 2009).

Con respecto a las precipitaciones, a lo largo del país se distinguen tres tipos de distribución en el año. En la zona central y centro-sur existe un ciclo anual bien definido, característico de un régimen mediterráneo, que se manifiesta con un máximo invernal y un período estival con un monto significativamente menor que va aumentando hacia el sur. La zona austral, al oeste de la cordillera de los Andes se caracteriza por una precipitación abundante en todos los meses del año, llegándose a acumular varios metros en el año, sin embargo, en la ladera oriental los montos disminuyen aproximadamente un orden de magnitud. Un tercer tipo de ciclo corresponde al que se presenta en la zona altiplánica, con precipitaciones modestas concentradas en verano, que en pocas ocasiones (cada 30 o más años) pueden tornarse más intensas. Con respecto a cambios recientes en la precipitación, Quintana y Aceituno (2006) han observado una tendencia de disminución de las

precipitaciones en la zona centro-sur a partir de la década de 1970, lo que, sin embargo, es difícil de validar debido a la fuerte variabilidad en la escala de tiempo decadal, que se vincula a cambios en esa misma escala en la Oscilación Austral (y de la frecuencia de eventos de El Niño y La Niña), así como la Oscilación Decadal del Pacífico.

1.2 Eventos extremos

Chile, a lo largo de su historia, ha sido afectado recurrentemente por distintos tipos de fenómenos naturales extremos. Debido a su localización geográfica, los más comunes han sido sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, sequías e intensas lluvias que han desencadenado inundaciones y procesos aluvionales, entre otras consecuencias. A pesar de la relevancia de estos fenómenos y sus impactos sobre la población, no existen registros históricos adecuados, por lo que es difícil obtener información integral de los efectos generados por estos (BID/CEPAL, 2007). Los eventos meteorológicos extremos, como sequías y temporales, si bien no causan impactos significativos en comparación con terremotos o erupciones volcánicas, resultan relevantes por su recurrencia.

1.3 Proyecciones climáticas futuras

El análisis de impactos del cambio climático en el país se basa en las proyecciones del modelo de clima global HadCM3 de la Oficina meteorológica de Inglaterra. Este modelo, a su vez, ha sido aplicado a los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero A2 y B2. El escenario A2 implica un nivel alto de emisión de GEI, mientras que el escenario B2 considera un futuro más moderado en este sentido. Las proyecciones climáticas futuras se analizan considerando tres períodos distintos. Un período temprano que va de 2010 a 2040, uno intermedio de 2040 a 2070 y uno tardío de 2070 a 2100. En este trabajo se hace referencia de manera recurrente a estos períodos de análisis. En la figura 1.1 y la figura 1.2 se presentan de manera gráfica las proyecciones de temperatura para estos escenarios, y en la figura 1.3 y la figura 1.4 se muestra la proyección de precipitación para los mismos.

Comparando ambas proyecciones de temperatura, se ve que para el período temprano, ambos escenarios muestran aumentos en todo el país, pero de manera más clara en la zona del altiplano. En este período los aumentos son mayores en el escenario B2. En el período intermedio, en cambio, el escenario A2 muestra aumentos mayores en la zona altiplánica y la zona centro-sur. En el período tardío, ambos escenarios pronostican aumentos de temperatura en todo el país, incluida la zona del extremo austral, pero en el escenario A2 se muestran los aumentos mayores, de 3°C a 4°C, en comparación al aumento de 2°C a 3°C en el escenario B2. En general, se observa que los aumentos de temperatura son más evidentes a medida que se aleja la influencia del océano (en altura o alejado de la costa).

Con respecto a las proyecciones de precipitación, puede verse que para el período temprano se proyecta en el escenario B2 un mayor descenso de precipitación (entre un 10% y un 20%) en la zona del norte chico (regiones de Atacama y Coquimbo), en comparación con el escenario A2. En el período intermedio, ambos escenarios proyectan aumentos de precipitación en la región de Magallanes y disminución de precipitación entre las regiones de Antofagasta y Los Lagos; sin embargo, los cambios son más acentuados en el escenario A2. Para el período tardío, en ambos escenarios se proyectan de manera similar aumentos de precipitación en el extremo austral y el altiplano, y un mismo rango de zonas con descenso de precipitación (también entre Antofagasta y Los Lagos), pero el escenario A2 nuevamente muestra los descensos más pronunciados para esta última zona, de entre un 30% y un 40 %.

FIGURA 1.1
CHILE: PROYECCIONES DE TEMPERATURA PARA EL ESCENARIO A2
(Cambios en grados centígrados sobre base histórica)

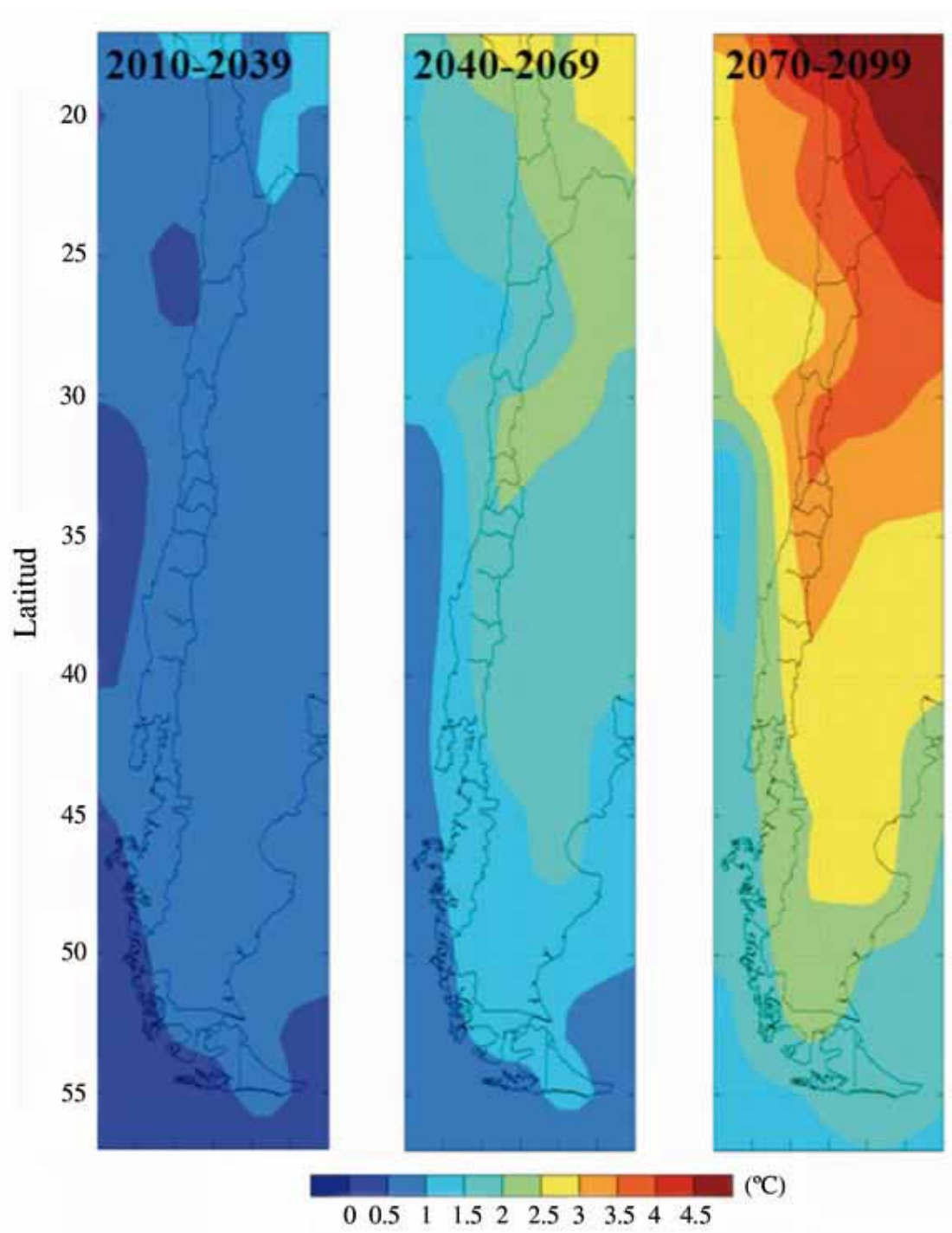


FIGURA 1.2
CHILE: PROYECCIONES DE TEMPERATURA PARA EL ESCENARIO B2
(Cambios en grados centígrados sobre base histórica)

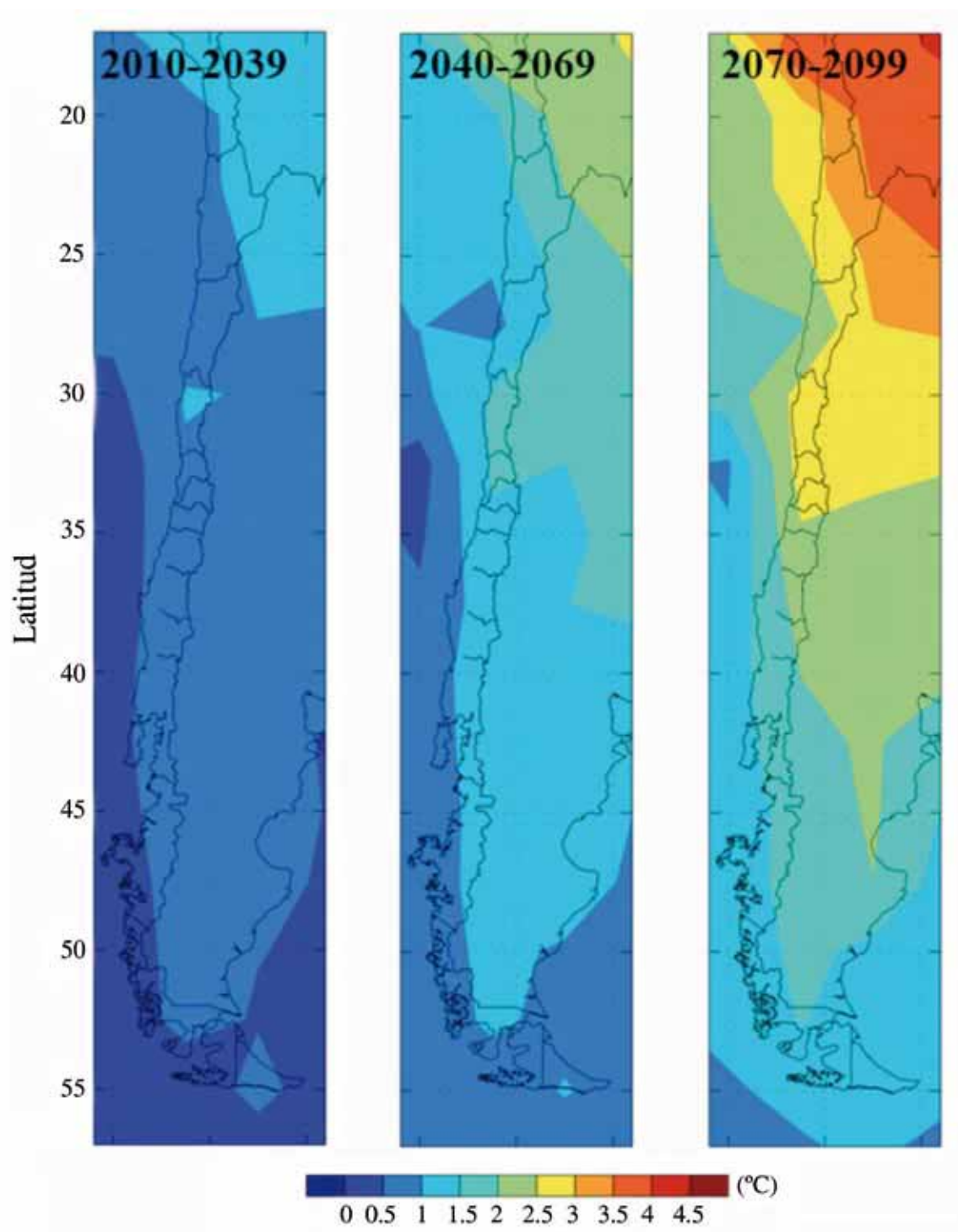


FIGURA 1.3
CHILE: PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESCENARIO A2
(Cambios porcentuales sobre base histórica)

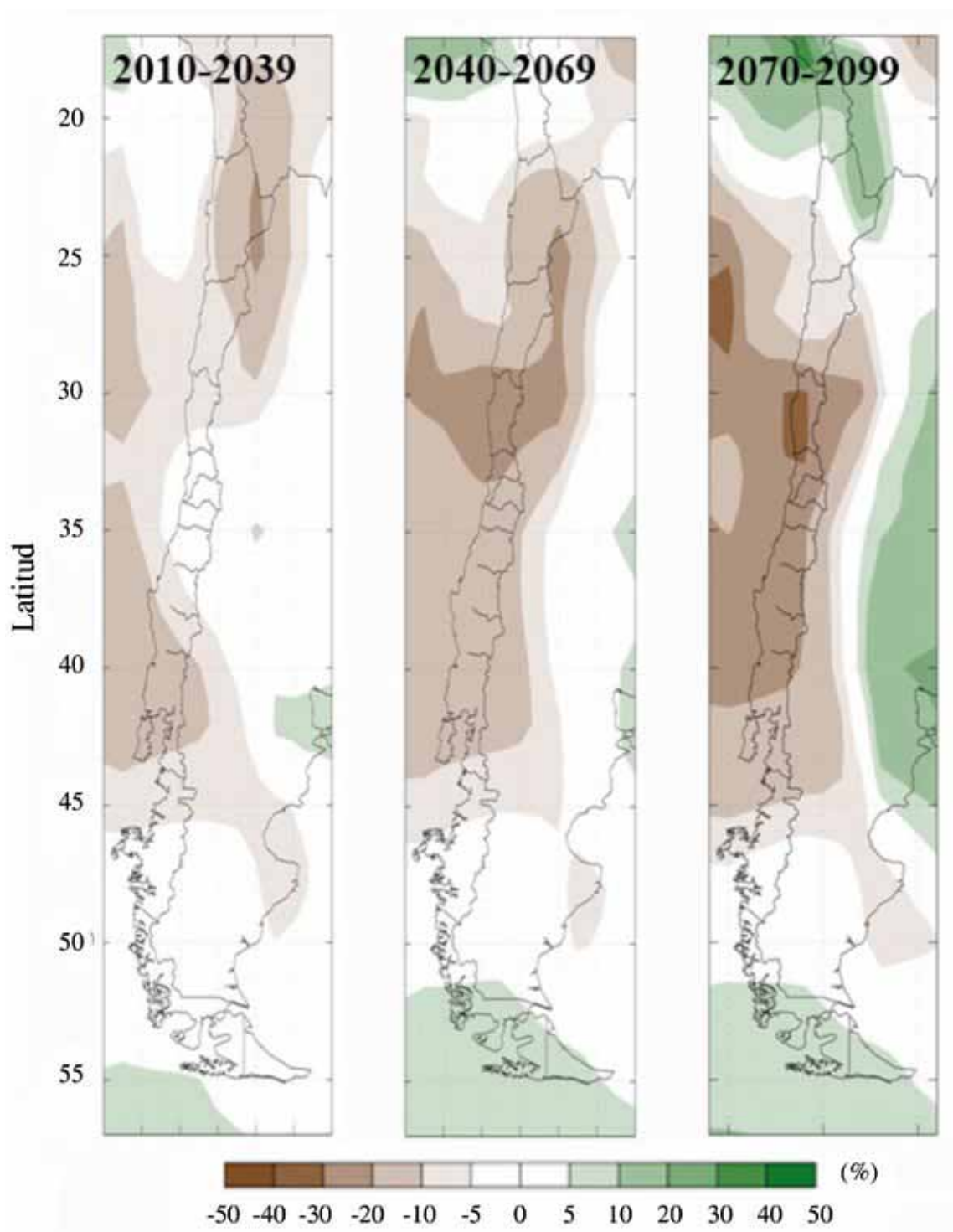
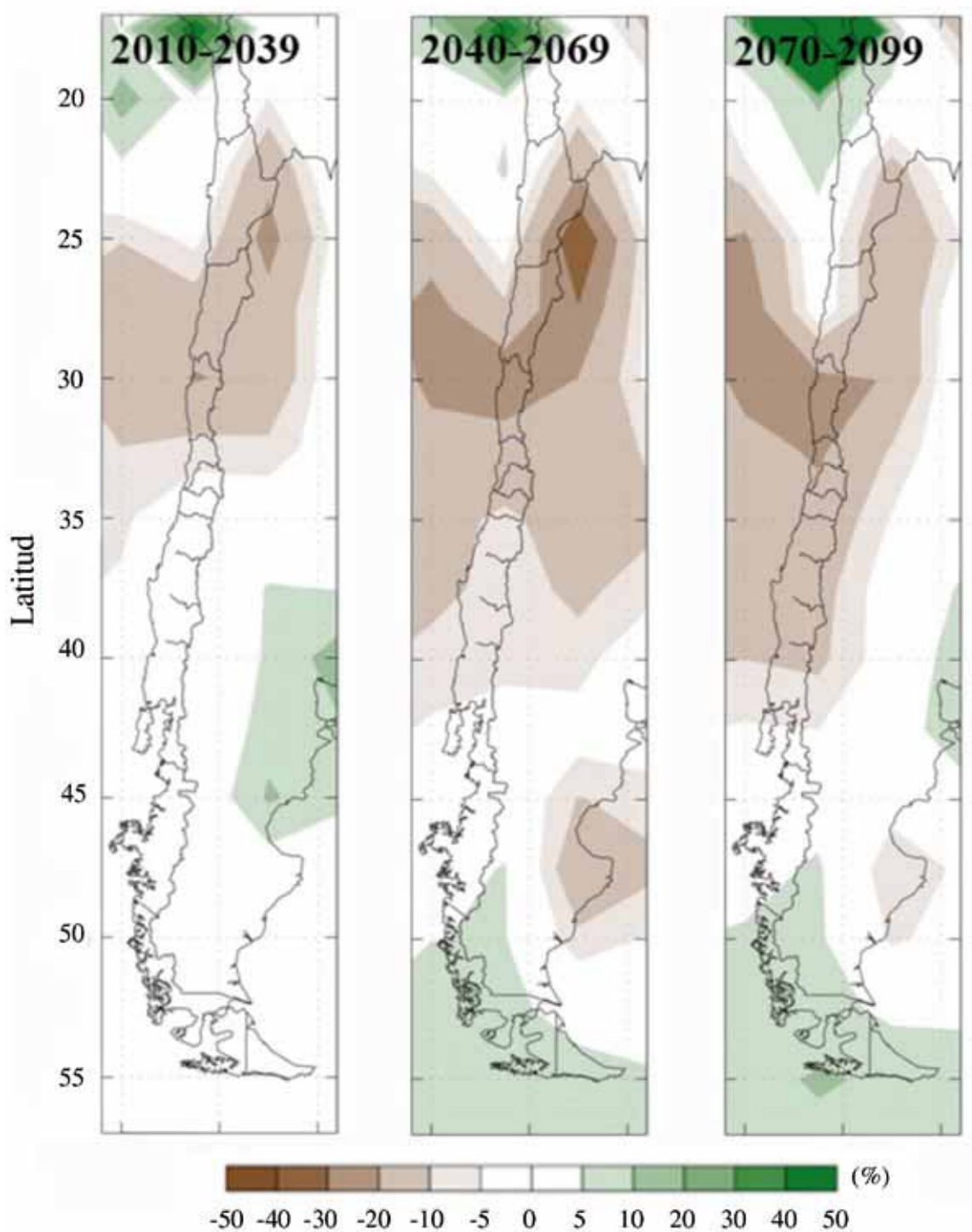


FIGURA 1.4
CHILE: PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESCENARIO B2
(Cambios porcentuales sobre base histórica)



En este trabajo, además de la presentación de estos resultados, se ha llevado a cabo un análisis de incertidumbre de las proyecciones que ofrece el modelo utilizado en el estudio. La intención de este análisis es poder distinguir cuáles de las proyecciones que se ofrecen corresponden a señales robustas, que comparten un gran número de modelos en comparación con aquellas proyecciones que tienen un mayor grado de incertidumbre. Puede concluirse que para el caso de Chile existe una alta probabilidad de ocurrencia de una disminución de precipitaciones entre los paralelos 30°S y 42°S (entre la Región de Coquimbo y de Los Lagos, aproximadamente), para la cual se puede esperar que la señal de cambio climático sea mayor a la variabilidad, incluso en un futuro cercano. En la Región de Magallanes (50°S a 55°S) existe también una gran concordancia entre los modelos en cuanto a la proyección de un pequeño cambio positivo de precipitación para esta región (entre un 5% y un 10% de la precipitación actual). Sin embargo, el cálculo indica que esta proyección nunca sobrepasa el nivel de variabilidad natural. El resto de las regiones del país (en especial en el altiplano y norte grande al norte del paralelo 27°S) existe una gran dispersión entre las proyecciones de los modelos, sin encontrarse resultados robustos con respecto a los cambios esperables a futuro.

La figura 1.5 presenta un resumen de las proyecciones de precipitación para las distintas regiones del país. Se presenta, por una parte, la robustez de la señal, considerando el análisis de incertidumbre asociado a todas las proyecciones de cambio climático disponibles, y también la señal de cambio de acuerdo al modelo HadCM3.

FIGURA 1.5
CHILE: RESUMEN DE PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN POR REGIÓN DEL PAÍS ^a

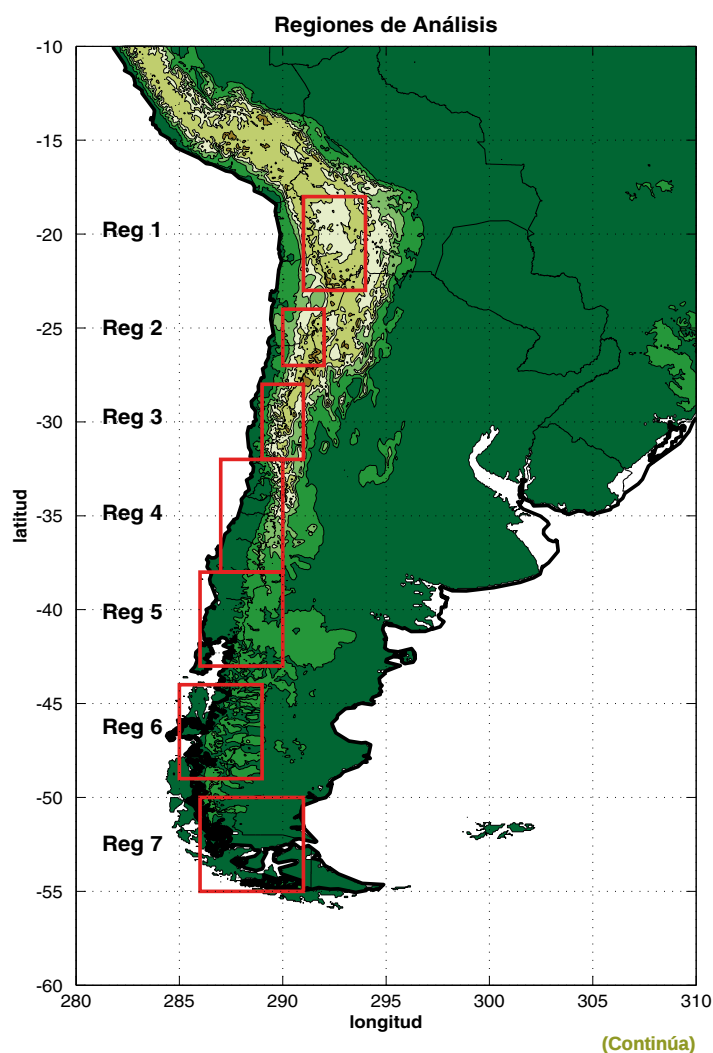


Figura 1.5 (conclusión)

Región	Robustez de la señal		
	Temprano	Intermedio	Tardío
Reg 1: Altiplano (18-23S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Disminución: 0/-10%		Aumento: +5/+10%
Reg 2: Norte Grande (23-27S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Disminución: -5/-10%		
Reg 3: Norte Chico (28-32S)	Leve señal de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5%	Disminución: -10/-20%	
Reg 4: Chile Central (32-38S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Reg 5: Zona Sur (38-42S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Disminución: -5/-10%	Disminución: -10/-20%	Disminución: -20/-30%
Reg 6: Patagonia (44-49S)	No existe una señal clara en cambio de precipitación		
	Neutro: -5/5%		
Reg 7: Magallanes (50-55S)	Señal robusta de disminución de precipitaciones		
	Neutro: -5/5%	Aumento: +5/+10%	

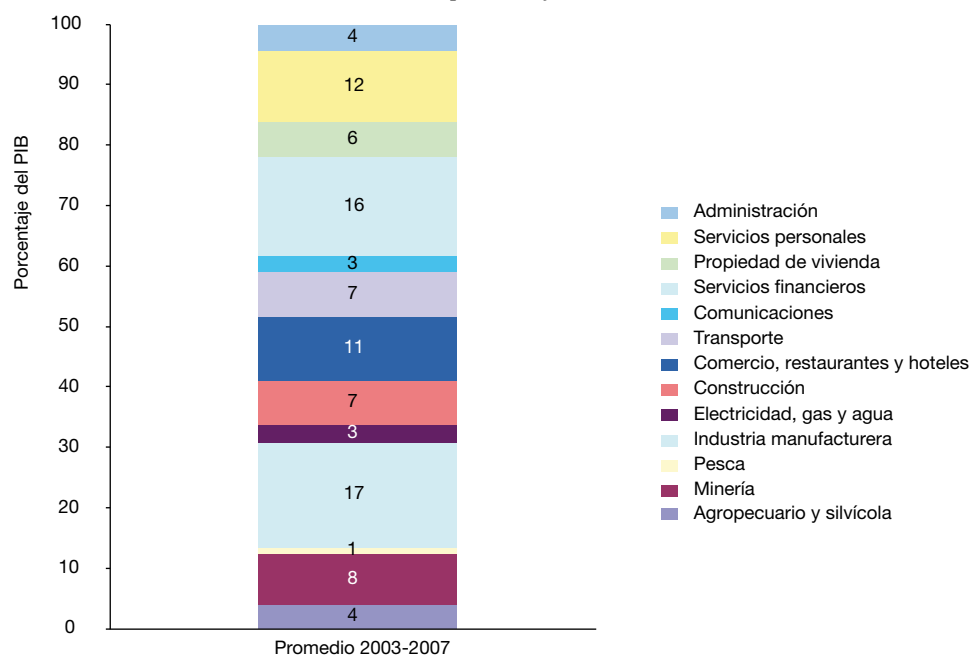
^a Se presenta el resultado del análisis de incertidumbre y proyección de acuerdo al modelo HadCM3.

2. Los escenarios socioeconómicos de Chile

En forma paralela a la preparación de proyecciones climáticas, y dándole el contexto a la evaluación económica de impactos y, posteriormente, de medidas de mitigación, se han desarrollado diferentes escenarios socioeconómicos.

Desde 1990 a la fecha, Chile ha experimentado un crecimiento económico rápido, cada vez más diversificado y liderado por las exportaciones (véanse más detalles en OCDE/CEPAL (2005)). De acuerdo a lo que se presenta en la figura 2.1, si bien la economía del país se fundamenta en el aprovechamiento de recursos naturales (actividades minera y silvoagropecuaria), el sector de servicios financieros y personales es el que aporta en mayor medida al producto interno bruto (PIB), seguido de la industria manufacturera. Esto se debe a los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás que las actividades primarias desarrollan con el resto de las actividades de la economía (servicios, transporte y comunicaciones, entre otros).

FIGURA 2.1
CHILE: APOORTE AL PIB DE LOS DIFERENTES SECTORES DE LA ECONOMÍA, 2003-2007
(En porcentajes)



Recientemente, y después de varios años de marcada expansión (con una tasa de crecimiento promedio del 4% anual entre 1997 y 2007), la actividad económica presenta una desaceleración caracterizada por una inflación moderada. La desaceleración económica mundial, las condiciones financieras más estrictas y un menor nivel de actividad, consumo e inversión, implicarán un crecimiento proyectado de entre un -0,75% y un 0,25% para 2009. Sin embargo, para fines de 2009 y durante 2010 se espera que la actividad económica retome valores positivos y más cercanos a la tasa de crecimiento de largo plazo (Banco Central de Chile, 2009).

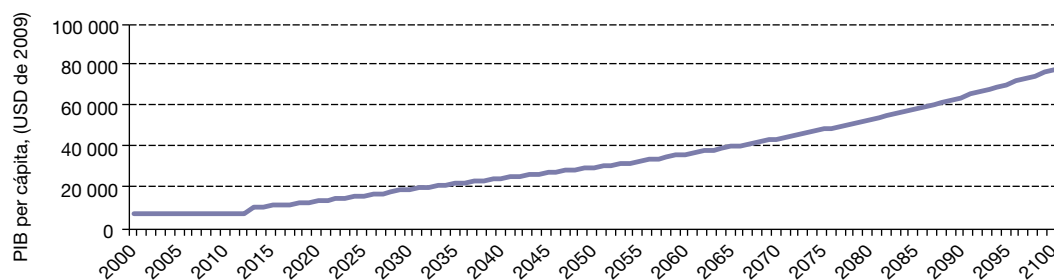
Con respecto a las condiciones demográficas, se estima que la población del país en el año 2007 era de 16.598.074 habitantes, de los cuales un 40% vivía en la Región Metropolitana. Por otra parte, considerando las proyecciones basadas en estudios del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y la CEPAL, se espera que la población del país alcance a poco más de 20 millones de personas hacia 2050 y que después empiece a decaer hasta llegar a aproximadamente 17 millones a finales de siglo.

Complementando la información anterior, se ha desarrollado un escenario de crecimiento del PIB hasta finales del siglo XXI que será utilizado en la metodología de evaluación económica de impactos. Para el período de horizonte más cercano se ha utilizado la información considerada en la línea base de proyección de emisiones de GEI que se describe en un capítulo posterior. Hasta 2030 se realiza una proyección usando como base las siguientes tasas de crecimiento, tomadas del estudio realizado para la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la CONAMA, por POCH (2009)¹:

- 2008: crecimiento de un 3,2%
- 2009: crecimiento esperado del 0%
- 2010: crecimiento esperado del 3%
- 2011 a 2015: proyección de crecimiento del 5% anual
- 2016 a 2030: proyección de crecimiento del 4% anual

Para períodos posteriores a 2030, y dada la elevada incertidumbre, se ha llevado a cabo una proyección del PIB que se basa en las tasas de crecimiento de países que tengan un PIB per cápita similar al de Chile para los años respectivos. El resultado de este ejercicio es una proyección de crecimiento del PIB que se realiza sobre la base de datos observados en otros países con un mismo nivel de ingreso per cápita, y que cumple con el principio de convergencia. De acuerdo a este análisis se obtiene una disminución en la tasa de crecimiento, llegándose a valores del 2% en 2040, del 1,5% en 2050 y cerrando la proyección con un valor promedio del 1,2% en los últimos 50 años del siglo XXI. Combinando ambos escenarios se elabora la figura 2.2, que muestra la proyección del crecimiento del PIB per cápita del país hasta 2100. Es importante aclarar que esta proyección no corresponde a valores oficiales, ya que el Ministerio de Hacienda no publica proyecciones del PIB con estos horizontes de tiempo.

FIGURA 2.2
CHILE: PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO
PER CÁPITA, 2000-2100
(En dólares de 2009)



¹ Las tasas de crecimiento para los años 2009 y 2010 son las consideradas en POCH (2009), tomando como información base la disponible a la fecha del cierre del estudio (agosto de 2009).

3. La metodología del análisis económico del cambio climático

3.1 Impactos y adaptación

Tal como se señaló en el cuarto informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2007), no existen a la fecha muchos estudios enfocados al análisis de los impactos económicos del cambio climático desde el punto de vista de un país o una región en particular. A nivel global se han realizado una serie de esfuerzos en esta materia, entre los que destaca el informe Stern (Stern, 2007). En estos estudios, sin embargo, se han simplificado en gran medida las relaciones existentes entre las proyecciones climáticas y sus consecuentes impactos físicos y económicos, sobre todo en la escala espacial en que se realizan los análisis. Este estudio, al igual que otros similares que se están llevando a cabo en la región, tiene como objetivo empezar a comprender a una escala espacial de mayor detalle cuáles son las implicancias que las proyecciones climáticas para el futuro tendrán sobre las actividades económicas del país. Estos cambios climáticos van a generar, en algunos casos, reacciones desde el punto de vista de los actores económicos que tienden a disminuir el impacto monetario esperado. Hemos llamado a este tipo de reacción “adaptación intrínseca” o “endógena”, porque ocurre independientemente de políticas e incentivos que se apliquen de manera planificada para paliar los impactos. Esto último no implica que sean acciones sin costos de implementación. Cuando existen políticas e incentivos que se desarrollan de manera planificada, las hemos llamado medidas de adaptación “planificadas” o “exógenas”, cuya implementación también tiene un costo, pero que, según se esperaría, sería menor que la reducción de impactos asociados a la introducción de la medida.

3.2 Mitigación

Pese a que la contribución de cada país a las emisiones de GEI a nivel global es variable, se reconoce que la única solución a este problema supone que todos los países aporten al control y disminución tanto de las emisiones directas como de las indirectas de estos gases. El control de estas emisiones tiene un costo económico asociado que debe ser evaluado.

3.3 Efectos interrelacionados

En algunos casos particulares, se torna difícil hacer una clara distinción entre un análisis de adaptación y uno de mitigación. Un buen ejemplo es la posibilidad de que una reducción en la generación de energía hidroeléctrica, producto de disminuciones de precipitación, traiga consigo un aumento en la

generación a través de centrales termoeléctricas, lo que incide en un alza en las emisiones de GEI. Existe una serie de ejemplos equivalentes que han sido reconocidos en este trabajo.

3.4 Metodología del análisis económico del impacto del cambio climático en Chile

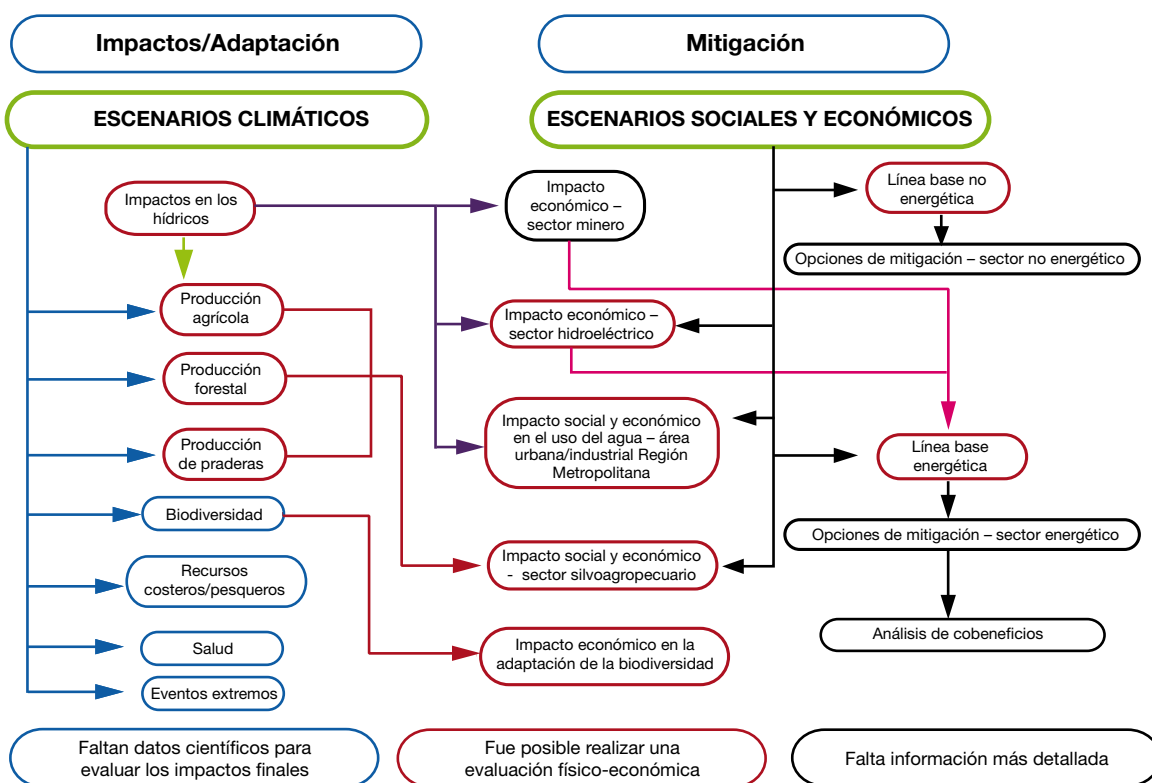
Prácticamente todas las actividades socioeconómicas están vinculadas de alguna manera (directa o indirecta) al clima. Es por ello que se esperaría que en todas ellas se manifieste —aunque de manera sutil— alguna huella asociada a los impactos del clima. Sin embargo, es posible asumir que en algunos sectores con relación más directa con este (como el agrícola), las consecuencias sean más evidentes. Por otra parte, pese a que en algunos sectores (como el pesquero) la relación entre la actividad y el clima es clara, no existe un conocimiento muy desarrollado con respecto a esta relación, por lo que es difícil hacer estimaciones del impacto económico en el sector a futuro. Sobre la base de estos conceptos, la evaluación económica del cambio climático en el caso de Chile es dispar según los diferentes sectores de la economía.

En la figura 3.1 se muestra, mediante un diagrama, la metodología utilizada en este trabajo. En ella se han considerado aspectos relativos a los impactos y la adaptación, así como a la mitigación. También se destacan aquellos sectores donde existen interrelaciones entre el impacto y la mitigación. Como se puede apreciar en algunos casos, como el de la agricultura, ha sido posible llevar a cabo un análisis más detallado de los impactos esperados del cambio climático. Este análisis comprende, en líneas generales, una evaluación de los impactos físicos asociados a los cambios climáticos (en el caso de la agricultura esto se traduce en cambios en la disponibilidad de agua para riego y en la productividad de los cultivos) y, después, una evaluación de los impactos económicos asociados, incluido, cuando sea pertinente, un grado de adaptación endógeno que es esperable. En otros casos, como el del sector de recursos pesqueros, falta aún información científica de base que permita evaluar desde un punto de vista físico la proyección de impactos. Por último, existen sectores como la minería, en los que no es posible establecer los impactos desde el punto de vista económico, por falta de información detallada suficiente. Es importante mencionar que en ninguno de los casos considerados (con la excepción de un análisis regional particular que se plantea en el tema de la biodiversidad) ha sido posible llevar a cabo una evaluación de los costos y beneficios asociados a la implementación de medidas de adaptación planificadas. Sin perjuicio de lo anterior, se plantean una serie de alternativas a considerar en este sentido, a la luz de los resultados encontrados.

Es importante destacar que la evaluación de los impactos del cambio climático en un sector de la economía implica, por una parte, entender los impactos que se proyectan en las condiciones físicas en que se desarrolla este sector, pero también, considerando que estos se generan en horizontes lejanos de tiempo, es importante contar con un escenario de las condiciones económicas que se esperan en el futuro para este sector. Es por esto que se ha considerado en este trabajo la proyección de la condición económica a nivel macro del país, tal como se presentó en el capítulo 2. Sin embargo, no se han elaborado supuestos acerca de los cambios estructurales que pueda tener la economía en el futuro en cuanto al aporte de ciertos sectores por sobre otros.

Los detalles asociados a este esquema metodológico quedan más claros cuando se describen los análisis sectoriales que se presentan en el próximo capítulo.

FIGURA 3.1
CHILE: ESQUEMA METODOLÓGICO DE ANÁLISIS DE LA
ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO



4. Impactos económicos y sociales asociados al cambio climático en Chile

Prácticamente todas las actividades socioeconómicas están vinculadas al clima. Algunas de ellas, como la agricultura o el sector forestal, presentan una dependencia directa, ya que el clima determina la existencia de recursos energéticos y físicos primarios. En otros casos, los recursos hídricos juegan un papel de gran relevancia, de tal forma que los impactos que el cambio climático tenga sobre la oferta hidrológica dan lugar a consecuencias en cascada que repercuten finalmente en las actividades económicas que se benefician de ellos. También existen sectores de la economía que, pese a no tener una relación directa con el clima, están relacionados con sectores que sí lo están y, por ende, también pueden sufrir los impactos del cambio climático.

En este capítulo se ofrece información sobre los efectos de los escenarios de cambio climático proyectados sobre distintos sectores de la economía, así como también una mirada analítica a sistemas biofísicos (suelos, recursos pesqueros, costas, infraestructura) y ecosistemas (biodiversidad) que pueden presentar un nivel de sensibilidad importante frente a cambios climáticos y que, por ende, ven comprometidos la calidad y oferta de los servicios que pueden brindar. Finalmente, en esta sección se abordan algunos impactos sociales derivados, como los efectos en la salud y en la posibilidad de migraciones debidos a cambios importantes en los patrones de demanda de mano de obra.

4.1 Recursos hídricos

Los recursos hídricos son fundamentales para el desarrollo del país, ya que prácticamente todas las actividades económicas utilizan el agua como un insumo fundamental (minería, agricultura, generación eléctrica, entre otros). La disponibilidad de estos recursos en Chile es muy heterogénea en cuanto a tiempo y espacio, existiendo zonas con abundancia de recursos y otras con permanente déficit.

Desde el punto de vista de la demanda de recursos esta también es heterogénea, teniendo algunos sectores mayor relevancia que otros en diferentes regiones del país. Se espera que el consumo de agua a nivel nacional aumente de manera sostenida en los próximos años producto de las presiones demográficas y económicas que existen sobre la demanda de los recursos hídricos. Por otra parte y acorde a las proyecciones climatológicas futuras presentadas con anterioridad, se

esperan impactos importantes en las condiciones hidrológicas de las diferentes cuencas hidrográficas del país que se resumen en los siguientes puntos generales:

- En las cuencas ubicadas entre el paralelo 30°S y 42°S (entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, aproximadamente) se esperaría una disminución de los caudales disponibles (efecto de la precipitación) y un cambio en la temporalidad de los caudales (efecto tanto de la precipitación como de la temperatura). También se esperaría una disminución importante en el hielo acumulado en los glaciares que se encuentran hoy presentes en estas cuencas. Esto simplemente significa seguir la tendencia histórica de retroceso de estos, tal como fuera registrado en diversas publicaciones (Escobar et al., 1995). Este hecho afectaría la disponibilidad de agua en aquellas cuencas donde el aporte de los glaciares es significativo (en general, las cuencas entre el Aconcagua y Cachapoal, y algunas cuencas del norte de Chile; Bitrán y Rivera s/f). Este efecto se hace más notorio en los períodos de estiaje (verano-otoño) y en especial en períodos de sequía, cuando el aporte de precipitaciones e incluso del derretimiento de nieves disminuye. Este tipo de efecto no ha sido considerado en los análisis que se presentan posteriormente.
- Para el extremo austral del país (entre los paralelos 50°S y 55°S) se esperaría un aumento en los caudales disponibles y un cambio en la extensión de las masas de hielo cuyo sentido va a depender de los cambios relativos de radiación, temperatura, precipitación y de otras variables que influyen en la evolución de estos.
- La situación en el extremo norte del país (cuencas endorreicas y altiplánicas) es más ambigua. El modelo utilizado en este trabajo pronostica una disminución de la precipitación a principios de siglo y un aumento de la misma a finales de este. Esto implica una clara disminución de la disponibilidad de recursos en el período cercano, pero no es completamente clara la situación en el período futuro producto del efecto que podrían tener los cambios en la evaporación de agua asociados a los aumentos de temperatura.

Finalmente, siguiendo la cadena de efectos, se esperaría que estos cambios hidrológicos tengan importantes impactos en la utilización de los recursos hídricos en las cuencas ubicadas en la zona central del país. Estos estarían asociados a una baja en la disponibilidad de agua que se manifestaría de manera más clara en los períodos más críticos del año (finales de primavera y verano). Estos efectos dependen de la capacidad de regulación de los caudales en cada cuenca lo que permite “mover” el agua de los períodos en el año en que esta se encuentra disponible a los períodos en que se necesita. Estos cambios hidrológicos afectarían la productividad de sectores que dependen de la disponibilidad y temporalidad de caudales, como la agricultura de riego, generación hidroeléctrica y consumo de agua en los sectores municipal, industrial y minero. En las secciones siguientes se presentan análisis asociados a cada uno de ellos.

Es importante mencionar que este análisis toma en cuenta cambios en las condiciones promedio para períodos largos de tiempo (30 años). La relación entre el clima y los impactos asociados es por lo general no lineal y compleja. La ocurrencia de eventos extremos (sequías o inundaciones) es lo que incide en mayor medida en los impactos económicos en el país. Pese a que este tipo de relación no ha sido evaluada desde un punto de vista económico, sí se presenta en una sección posterior la relación entre cambio climático y frecuencia de eventos climáticos extremos en el país.

4.1.2 Impactos en la disponibilidad de agua para riego

La utilización de agua para riego es el principal consumidor de recursos hídricos en el país, especialmente en la zona central del país donde se concentra la agricultura. En algunas regiones existe una fuerte competencia en el uso de los recursos entre este y otros sectores, ya sea por la gran cantidad de agua demandada o por la falta de disponibilidad. Esto lleva a que exista un disímil nivel de estrés hídrico en las diferentes cuencas del país.

Para evaluar los cambios que podrían ocurrir en el futuro en términos de disponibilidad de agua para riego se ha aplicado como metodología una perturbación de los diferentes componentes que forman parte del balance hídrico de las cuencas del país (es decir, lluvia, evaporación y caudal). La información de base se obtiene del Balance hídrico de Chile (DGA, 1987), y que es modificada considerando los cambios proyectados en precipitación y temperatura para los escenarios de cambio climático. En base a esta metodología se obtienen escenarios de restricción de riego cuyos principales resultados se resumen en los siguientes puntos:

- Los agricultores ubicados al sur de la cuenca del Río Maipo no deberían tener problemas de abastecimiento de agua para riego en términos generales (existen salvedades a nivel puntual).
- De la cuenca del Río Maipo (incluida) al norte se proyectan restricciones en la disponibilidad de agua para riego que dependen del escenario (A2 o B2) y del período de tiempo considerado.
- Para el período temprano las restricciones varían entre 0% (escenario B2 en todas las cuencas excepto del Aconcagua) y un 15% (escenario A2 para la cuenca del Río Aconcagua).
- Para el período tardío las restricciones varían entre un 30% (escenario B2 en la cuenca del Río Maipo) y un 65% (escenario A2 para la cuenca del Río Aconcagua).

Estos escenarios de restricción hídrica implican por su parte fuertes restricciones en la productividad de cultivos, lo que será analizado en una sección posterior. Es importante mencionar que la metodología utilizada solamente permite llevar a cabo análisis regionales de gran extensión. Cuando se analizan estos temas en detalle, existen diferencias importantes entre usuarios dentro de una misma cuenca o entre tipos de agricultores que van a incidir de manera diferente en el impacto real que perciban fruto de los cambios en la hidrología.

4.1.3 Impactos en la generación hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica representa aproximadamente el 60% de la generación de electricidad en el Sistema Interconectado Central (SIC) y es, por sus bajos costos de operación, la primera opción de generación. Sin embargo, la disponibilidad de esta fuente de energía es altamente variable y dependiente de las condiciones climatológicas. En períodos donde las condiciones climatológicas reducen la disponibilidad de generación hidroeléctrica existe un costo para el país tanto de tipo económico, al implicar un aumento de la generación a través de fuentes más costosas (como el carbón o el diésel), como “climático”, muy relevante ya que significa un aumento en la emisión de GEI.

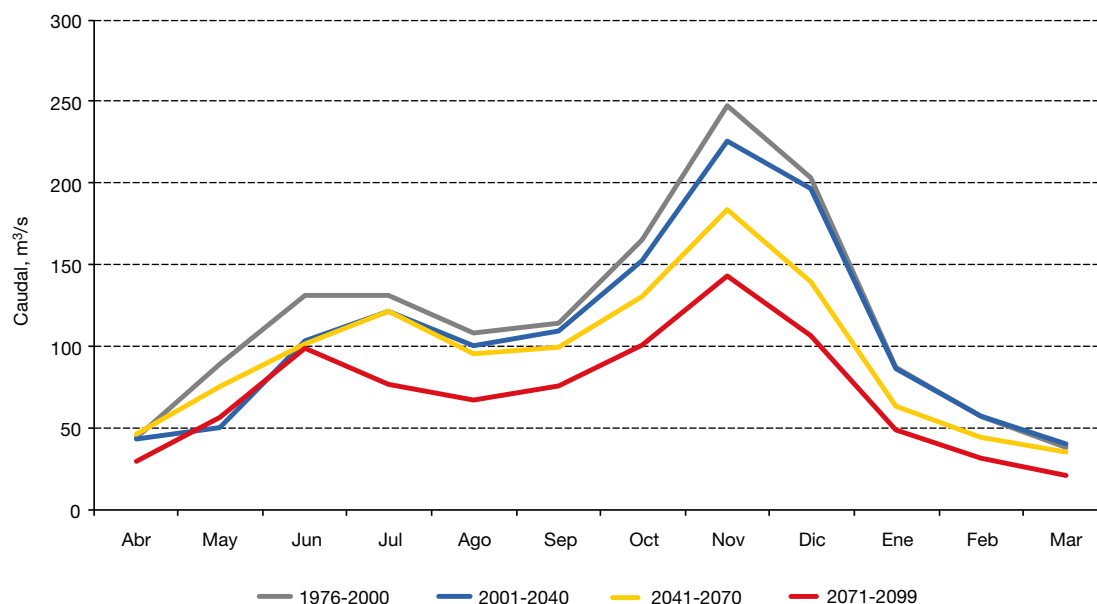
La metodología utilizada en este trabajo ha consistido primero en seleccionar dos sistemas de generación que poseen una gran relevancia por el nivel de aporte a la generación hidroeléctrica del país: los sistemas de los ríos Maule y Laja. Estos dos sistemas representan más del 40% de la potencia hidroeléctrica total instalada en el SIC. Para ambos sistemas se han desarrollado modelos hidrológicos que son capaces de representar en condiciones históricas y futuras el caudal de ingreso a las centrales de generación a nivel mensual. Por otra parte, para estos sistemas se han deducido

relaciones estadísticas entre el caudal de ingreso a las centrales y la generación hidroeléctrica. En el caso de sistema Laja, por su alta capacidad de regulación de caudal, la relación buscada incluye condiciones históricas con desfase en cuanto a las condiciones hidrológicas.

Utilizando tanto los modelos hidrológicos como estas relaciones estadísticas es posible determinar cambios en la generación hidroeléctrica de acuerdo a los escenarios climatológicos futuros. Es importante destacar que al basarse el análisis en relaciones estadísticas entre la hidrología y la generación se ignoran aspectos clave relativos a la operación de estos sistemas, como la estacionalidad de los caudales y la demanda de electricidad y la relación con otros usuarios en las cuencas (como agricultores). Finalmente, la información que se genera a través de estos modelos en los sistemas Maule Alto y Laja se extrapola con posterioridad a otras cuencas del país donde existe generación hidroeléctrica en el SIC, para determinar de esa manera los impactos del cambio climático en el sector hidroeléctrico a nivel nacional.

De acuerdo a las proyecciones climáticas consideradas en el trabajo, se evidencian grandes cambios hidrológicos en estos sistemas hidroeléctricos. A modo de ejemplo, en la figura 4.1 se presentan los cambios hidrológicos proyectados para la subcuenca de afluente al Embalse Melado del sistema Maule Alto para el escenario A2, donde se puede apreciar, tal como fuera comentado con anterioridad, una disminución de los caudales a nivel anual, pero de manera más clara en los meses de primavera y verano (el caudal de los meses de invierno prácticamente no se ve afectado). Estos son los impactos esperados frente a las reducciones de precipitación y aumento de temperatura proyectados para esta región.

FIGURA 4.1
CHILE: CONDICIONES HIDROLÓGICAS FUTURAS EN LA SUBCUENCA
AFLUENTE A EMBALSE MELADO DEL SISTEMA MAULE ALTO DE ACUERDO
AL ESCENARIO A2, PRESENTÁNDOSE TAMBIÉN EL CAUDAL HISTÓRICO
OBSERVADO PARA EL PERÍODO 1976-2000



Estos cambios en las condiciones hidrológicas tienen como consecuencia una reducción en la generación hidroeléctrica en condiciones medias. A modo de ejemplo, se presenta en el cuadro 4.1 el impacto esperado en las centrales ubicadas en la hoya intermedia del sistema Laja. Se puede apreciar que para ambos escenarios existe una disminución en la generación de hidroelectricidad.

CUADRO 4.1
CHILE: GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA HISTÓRICA Y FUTURA (ESCENARIO A2)
EN LA HOYA INTERMEDIA DEL SISTEMA LAJA

Período	Generación promedio anual (GWh)	Variación (porcentajes)
1972-2000	3 000	...
2010-2040	2 727	-9
2041-2070	2 460	-18
2071-2099	2 379	-21

Al extrapolar estos impactos al resto de cuencas hidroeléctricas del país (Maipo, Cachapoal-Teno, Bío Bío, entre otras) los resultados ofrecen proyecciones de generación que se muestran en el cuadro 4.2. Las variaciones en el potencial de generación hidroeléctrica para todo el SIC en su configuración actual van desde una disminución del 11% en el período cercano hasta una disminución del 22% en el período futuro lejano para el escenario A2. En el escenario B2 los impactos en el horizonte temprano son similares, sin embargo, la magnitud es menor para los escenarios más lejanos. Entre las cuencas individuales, la cuenca del río Bío Bío aparece como la más sensible, pero este resultado debe ser tomado con cautela debido a la escasa información histórica disponible y a posibles diferencias entre el régimen hidrológico del alto Bío Bío y el de la cuenca alta del río Maule.

CUADRO 4.2
CHILE: PROYECCIONES DE VARIACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN
HIDROELÉCTRICO DEL SIC - ESCENARIOS A2 Y B2 (VALORES EN GWH)

	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Bío Bío	Maule	Laja	Otras sur	Total
Período referencia	1996-2008	1996-2008	1996-2008	2004-2008	1976-2008	1973-2000	1996-2008	NA
Energía anual base	756	1 584	1 555	4 798	7 282	4 508	455	20 938
Escenario A2, variaciones porcentuales								
	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Bío Bío	Maule	Laja	Otras Sur	Total
2011-2040	-4%	-1%	-10%	-33%	-3%	-7%	-3%	-11%
2041-2070	-17%	-8%	-26%	-38%	-6%	-14%	-5%	-17%
2071-2099	-18%	-9%	-27%	-47%	-11%	-17%	-8%	-22%
Escenario B2, variaciones porcentuales								
	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Bío Bío	Maule	Laja	Otras Sur	Total
2011-2040	-12%	-3%	-2%	-32%	-3%	-4%	-3%	-10%
2041-2070	-16%	-8%	-16%	-32%	-6%	-11%	-4%	-14%
2071-2099	-10%	-9%	-9%	-40%	-8%	-12%	-6%	-16%

Para evaluar los impactos económicos finales relacionados con esta reducción de la generación hidroeléctrica se ha asumido que, asociado a esta baja en la generación, existe un aumento en la generación termoeléctrica para compensar estas pérdidas. Este supuesto se basa en la correlación negativa históricamente existente entre la generación hidroeléctrica y termoeléctrica en

el país. Se supone además (para simplificar el análisis) que las centrales térmicas que reemplacen estas pérdidas operarían con carbón, que hoy día es el combustible más barato. Se reconoce que este es un supuesto simple ya que el despacho de electricidad en el país es el resultado de un proceso de optimización económica donde se consideran precios de combustibles y costos de tecnologías de generación. Sin embargo, para obtener un cálculo más realista habría que considerar escenarios futuros (hasta 2100) de estas variables exógenas (precios y costos), así como también de diferentes políticas o medidas de mitigación de emisiones de GEI, tal como se analiza en el capítulo 6. Este tipo de análisis escapa al alcance de este trabajo.

Bajo los supuestos recién descritos se obtiene una proyección futura de, por una parte, un aumento en los costos de operación y, por otra, un aumento en las emisiones de GEI asociado a la operación de las centrales termoeléctricas. Un resumen de estos impactos se presenta en el cuadro 4.3 donde pueden verse los impactos esperados en el sector hidroeléctrico son significativos, incluso en el primer período de análisis, tanto en materia de emisión de GEI, alcanzando valores cercanos a los 3 millones de toneladas de CO₂ equivalente al año (MTCO₂e/año), como de costos económicos con valores en torno a los 100 millones de dólares al año.

CUADRO 4.3
CHILE: IMPACTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIOS A2 Y B2)
EN LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Período	Generación hidroeléctrica		Impactos asociados a aumento por generación termoeléctrica		
	GWh	Delta (porcentaje)	Reemplazo de generación (GWh) ^a	Emisión de GEI (tCO ₂ e/año)	Costo económico (millones de dólares/año)
1976-2000	20 938				
Escenario A2					
2011-2040	18 129	-13%	2 809	2 626 488	101
2041-2070	17 653	-16%	3 285	3 071 434	118
2071-2099	16 686	-20%	4 252	3 975 979	153
Escenario B2					
2011-2040	18 779	-10%	2 159	2 018 665	78
2041-2070	17 934	-14%	3 004	2 808 740	108
2071-2099	17 539	-16%	3 399	3 178 065	122

^a Equivale a la diferencia entre generación hidroeléctrica base y generación en escenario futuro.

4.1.4 Impactos en los sectores sanitario e industrial

Los sectores sanitario e industrial dependen en forma crítica de la disponibilidad de agua para su correcto funcionamiento. Por una parte, el sector sanitario tiene la función principal de abastecer de agua potable a la población, y el sector industrial, por su parte, necesita como insumo de operación agua cruda que en algunos casos es tomada directamente de la fuente de suministro de agua potable o de fuentes externas (como pozos de aguas subterráneas).

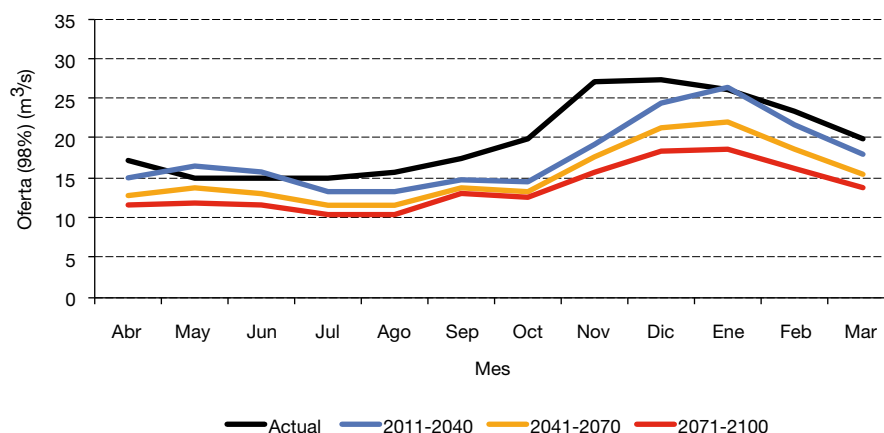
En ambos casos, los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos van a afectar sus actividades. Pero el efecto se expresa de manera distinta. En el caso del sector sanitario, cambios hidrológicos en las fuentes de abastecimiento (ya sea como cambios en volúmenes en el tiempo y en la época del año), o en la calidad de las aguas de abastecimiento (como el aumento en los niveles de concentración de sedimentos) pueden afectar las operaciones en el corto y largo plazo. Si existe una disminución en la disponibilidad de recursos, una empresa sanitaria tendrá que incurrir en costos (por ejemplo, para cambios en la infraestructura o adquisición de derechos) para asegurar la

satisfacción de la demanda, considerando proyecciones de mediano plazo de esta. Estos costos son finalmente traspasados a los usuarios en las tarifas de suministro. En el caso del sector industrial, los cambios en la disponibilidad de sus fuentes de abastecimiento implican aumentos en los costos de producción y, por ende, pérdidas de competitividad relativa. Para evaluar los impactos del cambio climático en estos sectores es básico, por lo tanto, poder evaluar, por una parte, los cambios en la disponibilidad de agua, relacionarlos con la demanda del recurso y, finalmente, establecer un modelo para estimar los impactos económicos asociados.

En esta instancia se ha llevado a cabo este ejercicio para evaluar los impactos en el sector sanitario asociado a la cuenca del Río Maipo. En instancias posteriores se puede replicar el modelo para estudiar la situación en otras cuencas del país. El hecho de que en la cuenca del Río Maipo se concentre aproximadamente el 40% de la población y prácticamente el 50% del PIB del país la convierte en una cuenca estratégica en el país. Por esta razón resulta sumamente relevante analizar los impactos del cambio climático para el sector sanitario que opera en esta cuenca. Este sector sanitario se ve representado en la actualidad por la empresa Aguas Andinas que abastece a prácticamente la totalidad de la población de la cuenca.

El análisis de impactos en el sector sanitario de esta cuenca se basa en una proyección (a través de un modelo hidrológico) de la disponibilidad de recursos en la principal fuente de abastecimiento de la empresa en el Río Maipo. Esta proyección considera los cambios hidrológicos y también restricciones operacionales como la tenencia de derechos de agua y la capacidad de la infraestructura de distribución. El análisis se realiza para un período crítico (98% de probabilidad de excedencia) de acuerdo a los protocolos de diseño de la empresa. Este cambio en la disponibilidad se compara luego con las proyecciones de demanda de agua potable para la región. En la figura 4.2 se aprecia el cambio en la disponibilidad para los períodos futuros. La demanda de agua para la región, producto del aumento de la población, sube de 14 a 18 m³/s en valores medios anuales entre la situación actual y el período intermedio, y después baja a 17 m³/s en el período tardío. Comparando la oferta y demanda de agua se evidencian meses con déficit. Por ejemplo para el mes de octubre, en el período 2071-2100, existiría un déficit de 6 m³/s entre la disponibilidad natural y la demanda de agua. A modo de referencia, es importante destacar que el caudal disponible total en el Río Maipo en el lugar de toma de Aguas Andinas para la misma probabilidad de excedencia es de 30 a 40 m³/s, siendo este caudal usado actualmente en su mayoría por el sector agrícola.

FIGURA 4.2
CHILE: OFERTA DE AGUA (ASOCIADA A ESCENARIO A2) PARA LA EMPRESA AGUAS ANDINAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA



En caso de que la demanda de agua supere la oferta se asume que la empresa tiene que incurrir en costos para asegurar el correcto suministro en el futuro. El supuesto de este trabajo es que este costo se manifiesta en términos de compra de derechos de agua. Y esta compra de derechos tiene que tomar en cuenta que los cambios en la disponibilidad promedio de agua en el río inciden en el precio al que se transan estos derechos. Todos estos efectos se han considerado para estimar los impactos económicos asociados al sector sanitario en la cuenca del Maipo que se resumen en el cuadro 4.4.

CUADRO 4.4

CHILE: IMPACTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO (ESCENARIOS A2 Y B2) EN EL SECTOR SANITARIO DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

	Compra de acciones	Precio (dólares/acción)	Costo (millones de dólares)	Costo (millones de dólares/año)
Escenario A2				
2011-2040	634	52 233	33	1,1
2041-2070	951	62 313	59	2,0
2071-2099	441	67 353	30	1,0
Escenario B2				
2011-2040	1121	52 233	59	2,0
2041-2070	904	62 313	56	1,9
2071-2099	6	67 353	0	0,0

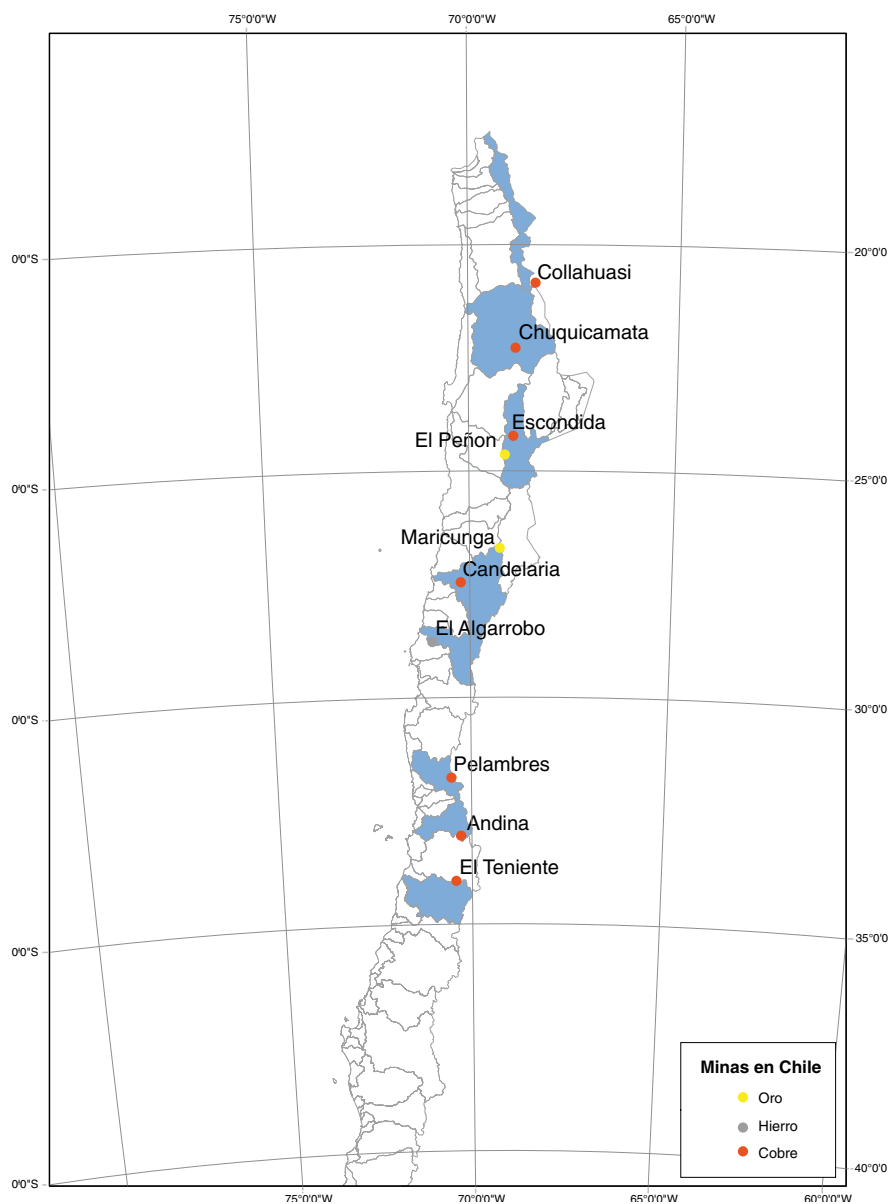
Se puede observar que, con ciertas diferencias menores, especialmente en el primer período de análisis, los costos para el sector bordearían los 2 millones de dólares al año, lo que significaría un aumento de aproximadamente dos dólares al año en la cuenta del agua de una familia promedio. Es esperable que este cambio en las tarifas no motiven una reacción en los hábitos de consumo de los habitantes de la región. No obstante, es probable que este sea solo uno de los costos en los que la empresa tenga que incurrir para asegurar el correcto suministro de agua, ya que probablemente también existirán costos asociados a cambios en la infraestructura (por ejemplo, no queda claro con la metodología utilizada si el embalse El Yeso tiene las condiciones suficientes para seguir operando de manera adecuada frente a los cambios hidrológicos que se proyectan a futuro) o costos asociados a problemas en la calidad del agua (como el aumento en la concentración de sedimentos producto del aumento en la altura de la isoterma cero). Por todas estas razones se estima que la compra de derechos de agua representaría en este caso un límite inferior con respecto a los impactos económicos en la operación del sistema de distribución de agua potable en la Región Metropolitana. También resulta importante considerar que en el análisis no se ha tomado en cuenta la relación que tiene el sector con otros sectores usuarios del agua en la cuenca, como el sector agrícola, y los posibles problemas de gestión de los recursos que podrían surgir en el futuro, producto de los cambios hidrológicos proyectados.

4.1.5 Impactos en el sector minero

El sector minero en Chile representa un 8% del PIB nacional (véase la figura 2.1) y un porcentaje mayor en términos de aporte a las exportaciones, lo que lo transforma claramente en un sector de relevancia estratégica desde el punto de vista económico en Chile. Por otra parte, una de las variables más significativas de todo proyecto minero, tanto en términos de las operaciones actuales como de la materialización de los proyectos futuros, es la disponibilidad del recurso hídrico. Todo proceso de beneficio de minerales, ya sea flotación, lixiviación u otro, requiere de agua para su ejecución. Los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos tienen, en este sentido, el potencial de aumentar las actividades de las faenas mineras y sus costos de operación asociados.

Para estudiar la situación futura en cuanto a disponibilidad de recursos para la minería del país se ha llevado a cabo un análisis basado en la perturbación (similar al esquema utilizado para el caso del riego) de las condiciones climáticas imperantes en las cuencas hidrológicas donde hoy en día existen faenas mineras. En el análisis se han incluido las minas de cobre (el mineral que aporta en gran medida el valor económico del sector), hierro y oro de mayor producción en el país ubicadas entre las regiones de Arica y Parinacota y O'Higgins. El mapa de la figura 4.3 se muestra la ubicación de las minas seleccionadas y las cuencas donde estas se ubican. Las cuencas que abastecen de agua a estas minas (en rigor las cuencas donde las minas se encuentran ubicadas) fueron clasificadas de acuerdo a las condiciones hidrológicas imperantes en tres grupos: déficit (precipitaciones anuales menores a 100mm), transición (entre 100mm y 500mm) o superávit (mayores a 500mm). En la actualidad, se estima que el 78% de la producción de cobre del país se lleva a cabo en minas ubicadas en cuencas con déficit.

FIGURA 4.3
CHILE: UBICACIÓN DE LAS MINAS SELECCIONADAS



En el cuadro 4.5 se presentan los resultados de la metodología aplicada para las minas seleccionadas en el trabajo. Se presentan las condiciones climáticas históricas y los cambios proyectados para el período 2010-2040 como un delta de variación en el caso de la temperatura y como un porcentaje de variación para el caso de la precipitación. Como se puede observar, hay un aumento proyectado en la temperatura del orden de 0,5°C a 1°C. En el caso de las proyecciones de precipitación, todas las cuencas presentan una reducción, variando entre un -5% y un -15%. También se presentan los cambios en la disponibilidad hídrica para estas cuencas. Es importante considerar que la metodología utilizada es, en algunos casos, insensible a pequeños cambios e incapaz de arrojar un resultado en términos relativos cuando se tiene como base una disponibilidad hidrológica igual a 0mm, como sucede en algunas de las cuencas consideradas.

Además, puede apreciarse en el cuadro 4.5 que ninguna de las cuencas mineras de Chile tiene mejoras hidrológicas, manteniéndose la gran mayoría en estado de déficit hídrico. Se prevé en este sentido que en el futuro se acentúen los conflictos existentes con respecto a la utilización de los recursos hídricos en estas cuencas. En las cuencas con déficit, el crecimiento en la producción minera que se espera (históricamente la producción de cobre ha aumentado a una tasa del 2,5% anual) posiblemente inducirá a las compañías dueñas de estas minas, y de otras que se ubican en las mismas cuencas, a tomar medidas para minimizar el costo del agua adicional que se utilice. La minimización del costo del déficit en la provisión de agua en el futuro considera diversas medidas, como aumentar las tasas de recirculación o desalinizar agua de mar. Esta última alternativa puede implicar un costo económico alto para las empresas y un aumento considerable en las emisiones de GEI de la industria, sobre todo en el norte grande, en que el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) presenta una composición casi exclusiva de centrales térmicas, sobre todo a carbón. Para minas ubicadas en la cordillera y considerando tecnologías actuales de reducción del uso del agua en de las faenas se estima que el costo asociado a desalar agua (y llevarlo a la mina) bordearía entre los 6 y 20 centavos por libra de cobre dependiendo de la altura y distancia de la costa, por lo que este factor puede llegar a representar hasta un 20% del costo de producción de algunas empresas¹. Esto es entonces de gran relevancia. En el caso de las mineras que se encuentran cerca de la costa y a baja altura sobre el nivel del mar el costo para utilizar agua desalada baja considerablemente a entre 1 y 3 centavos por libra de cobre, representando un costo mucho más absorbible para la minería. Con respecto a la emisiones de GEI se pueden estimar que estas estarían en torno a 0,1 tCO₂e por cada tonelada de cobre producida, si la opción de abastecimiento de agua en caso de déficit se relaciona con la desalación y se considera la actual matriz de generación en el SING.

¹ En este análisis se ha utilizado un precio de electricidad equivalente el precio de nudo de abril 2009 para el sistema SING. Este valor equivale a 109 dólares/KWh. Se utilizan las tasas de emisión de GEI del SING de acuerdo a POCH (2009)

CUADRO 4.5**CHILE: CAMBIOS CLIMÁTICOS Y DE DISPONIBILIDAD HIDROLÓGICA EN CUENCAS DONDE SE DESARROLLAN ACTIVIDADES MINERAS**

Mina	Cuenca	Pp. (mm/año)	T media (°C)	Q (mm/año) 1960-1990	Q (mm/año) 2011-2040	Delta Pp. (porcentajes)	Delta T (°C)	Delta Q (porcentajes)
Escondida	Endorreicas Salar de Atacama - Vertiente Pacífico	91,7	10,2	0	0	-13	0,7	-
Pelambres	Río Choapa	326	14,4	54,2	43,6	-7	0,4	-19,5
El Teniente	Río Rapel (Río Cachapoal)	1 595	14,0	1 115	1 069	-5,5	0,4	-4,2
Andina	Río Aconcagua (Río Colorado)	720	14,2	373	356	-4,9	1,0	-4,6
Chuquicamata	Río Loa (San Pedro de Chonchi)	141	8,5	8,5	4,8	-12,9	0,9	-44
Collahuasi	Altiplánicas (Salar de Coposa)	169	4,0	0	0	-11,2	0,9	-
Candelaria	Río Copiapó (Quebrada Paipote)	43	16,2	0,3	0	-12,1	0,5	-100
El Algarrobo	Río Huasco	175	14,5	5,5	0,7	-15,5	0,9	-88,2
Maricunga	Río Copiapó (Salar de Maricunga)	153	2,5	0	0	-7,8	0,5	-
El Peñón	Endorreicas Salar de Atacama - Vertiente Pacífico	91,7	10,2	0	0	-13	0,7	-

Notas: Pp = Precipitación anual promedio; T = Temperatura promedio; Q = Disponibilidad hidrológica en la cuenca donde la mina este ubicada (no necesariamente la disponibilidad real de la mina); Delta Pp = Cambios porcentuales en precipitación; Delta Q =Cambios porcentuales en caudal; Delta T = Cambio en grados de temperatura. Los cambios están asociados al escenario A2 para el período temprano.

4.2 Sector silvoagropecuario

Por su naturaleza, el sector silvoagropecuario es uno de los sistemas socioeconómicos humanos que mayores vínculos establece con las condiciones climáticas. El prolongado período en que cultivos y plantaciones permanecen expuestos a las fluctuaciones climáticas y las claras influencias que tienen los elementos meteorológicos, tanto sobre la productividad de los cultivos como sobre la calidad de los productos cosechados y en la productividad pecuaria, hacen de esta actividad una de las más vulnerables al cambio climático.

4.2.1 Impacto en la calidad de los suelos

La degradación del suelo agrícola es un problema importante a nivel nacional. Estudios realizados por AGRIMED (2008a) muestran que las zonas con mayores riesgos de erosión por lluvias, tanto en la actualidad como en escenarios de cambio climático, corresponden a las zonas ubicadas en la Cordillera de la Costa y precordillera de Los Andes. Se espera que esta situación se vea aumentada en el futuro, ya que, aun cuando gran parte de la zona de secano ve reducida sus precipitaciones, se proyecta una disminución de biomasa de la cubierta vegetal, lo que aumentaría el nivel de vulnerabilidad de los suelos frente a la erosión. Esto podría incidir en una pérdida en los factores productivos en el sector silvoagropecuario en el futuro.

4.2.2 Impacto en la productividad

Los impactos en la productividad de las nuevas condiciones climatológicas se derivan del uso de un modelo de simulación que, alimentado con datos climáticos (tanto históricos como futuros), permite realizar una simulación del comportamiento productivo de cada cultivo y plantación forestal a nivel comunal (AGRIMED, 2008a). El modelo también contempla una simulación del balance hídrico, que considera un módulo que regula el riego suponiendo restricciones en las dotaciones de agua disponible durante toda la temporada.

A partir de este modelo se han evaluado cambios en la productividad de los principales grupos de cultivos anuales: frutales (incluidas vides), praderas y plantaciones forestales. Estos resultados se han generado para los dos escenarios de cambio climático (A2 y B2) y dos períodos temporales (intermedio y tardío, según las definiciones consideradas en este estudio)². En la Figura 4.4 se presentan, a modo de ejemplo, los cambios en la productividad (en términos relativos) esperados para el período intermedio en cuatro casos: trigo en secano, vides, praderas naturales y plantaciones de pino radiata. Además, se ha incluido en los análisis el impacto en la productividad asociado a la reducción de disponibilidad de agua para riego, cuyo cálculo fuera descrito anteriormente.

a) Cultivos anuales

De acuerdo a los cambios climáticos proyectados, se espera que la agricultura de secano reciba el impacto de cambios en temperatura y precipitación, mientras que la agricultura de riego solo se verá afectada por el alza en la temperatura en aquellos lugares donde no se proyecten cambios en la disponibilidad de agua para riego. Respecto de los cultivos de invierno, especialmente cereales como trigo (véase la figura 4.4), avena y cebada, se ven beneficiados por el alza en la temperatura en aquellas localidades donde las precipitaciones son suficientes para cubrir sus requerimientos hídricos. En general, las modificaciones en el régimen térmico permitirán cambiar sus fechas de siembra, lo que reduciría en parte los efectos negativos provocados por la disminución de las precipitaciones. Por otra parte, se espera que una menor frecuencia e intensidad de heladas permita adelantar en varios meses la fecha de siembra de los cultivos de verano, lo que permitiría aprovechar las precipitaciones invernales. Sin embargo, en zonas bajo riego, estos podrían sufrir reducciones en su productividad. También se estima que en zonas donde las temperaturas son limitantes, como es el caso de la costa y precordillera, se pueda observar un aumento en los rendimientos. En términos generales, se aprecian mejoras en las productividades en el sur de país y en partes del valle central, y pérdidas de productividad en el resto del país, especialmente en aquellas regiones que presenten restricciones de riego.

b) Fruticultura y viticultura

Se espera en este caso que, de acuerdo a las proyecciones climáticas, los frutales de hoja caduca puedan extender su área de cultivo hacia las regiones de Bío Bío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (sur del país). Las temperaturas benignas invernales favorecerían a las especies subtropicales, que podrían mejorar sensiblemente su potencial en casi todas las regiones del país. En las regiones productivas del centro-norte habría importantes reducciones en la productividad, especialmente donde se proyectan reducciones en la disponibilidad de agua para riego. Para el caso de la viticultura, se espera que en el norte del país y algunas regiones de la zona central se deterioren las condiciones productivas como consecuencia de la reducción del período de fructificación debido al alza en las temperaturas. Esta pérdida podría ser compensada en parte con variedades tardías. También se presentarían pérdidas de productividad asociadas a la reducción en la disponibilidad

² Es importante mencionar un cambio de nomenclatura con respecto a los resultados previamente ofrecidos de acuerdo a esta modelación (AGRIMED, 2008a): los escenarios A240 y B240 usados con anterioridad corresponden, en este caso, a los resultados para el período intermedio y los escenarios A270 y B270 al período tardío.

de agua para riego. En la zona sur la vid se ve muy beneficiada por la atenuación del régimen de heladas hacia los sectores interiores del territorio. Aparte del beneficio productivo que esto significa, podría producirse un aumento de la precocidad en la maduración, perdiendo con ello las ventajas comparativas actuales que exhibe el norte del territorio.

c) Praderas y ganadería

Los escenarios climáticos proyectados para Chile durante este siglo parecen indicar que los cambios para el sector ganadero pueden ser negativos o positivos, dependiendo de la región de producción. En el caso de la ganadería ovina y bovina, los efectos del cambio climático se traducirán principalmente en cambios en la estacionalidad de la producción de las praderas, con diferencias más o menos marcadas de acuerdo a la zona geográfica correspondiente.

Asociado a estos cambios proyectados en la productividad de las praderas se ha llevado a cabo una evaluación de los impactos en la rentabilidad del sector ganadero a través de un análisis de tres casos de estudio dentro de las regiones ganaderas más importantes del país y que pretenden abarcar diferentes especies y sistemas productivos. Para el primer caso (crianza de bovinos en la Región de la Araucanía), los resultados pronostican una baja de producción en el escenario A2 y un aumento en el escenario B2; en el segundo caso, de producción de leche y carne en la Región de Los Ríos, se pronostican aumentos de productividad en ambos escenarios, aunque los márgenes son pequeños y no consideran el valor alternativo del uso de la tierra. Para el tercer caso, productor ovino de carne y lana en la Región de Aysén, la producción muestra pequeños aumentos en ambos productos y escenarios. Se desprende de estos análisis que la situación con respecto a los impactos del cambio climático en el sector ganadero es ambigua, por lo que no es posible llegar a conclusiones importantes con la información que se tiene hasta el momento.

d) Plantaciones forestales

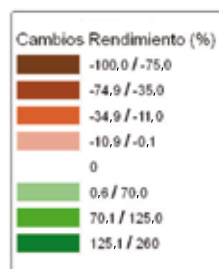
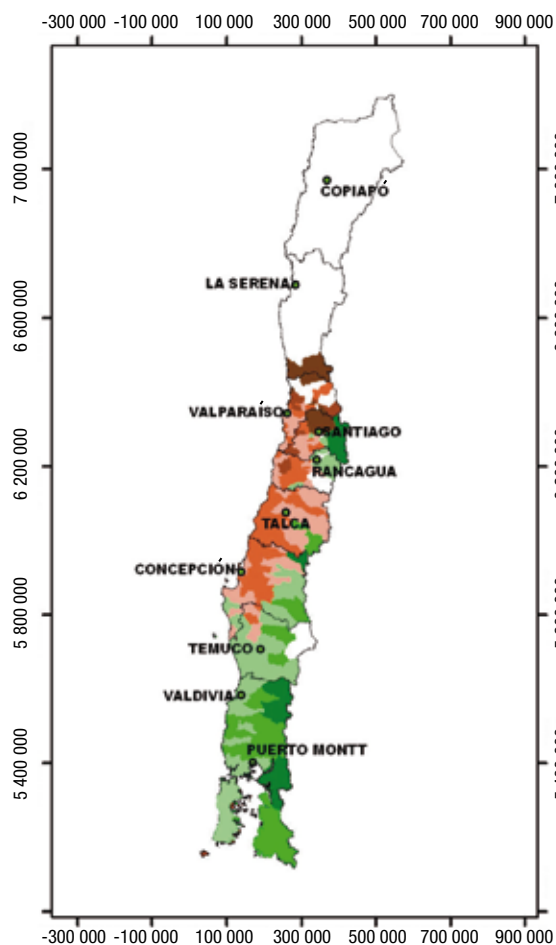
Estudios desarrollados por AGRIMED (2008b) muestran que en las plantaciones de pino radiata, las condiciones de producción se deterioran considerablemente en el centro-norte (regiones entre Coquimbo y Metropolitana) como consecuencia del aumento del déficit hídrico. Igual situación se verifica en el caso de los eucaliptos. No obstante, a partir de la región de la Araucanía, se proyecta un aumento del potencial productivo de estas especies, como consecuencia del mejoramiento de las temperaturas invernales y de la disminución del número e intensidad de las heladas. Lo anterior debe ser mirado con cautela, ya que los cambios se producen en períodos más largos y sus efectos pueden verse enmascarados por la inercia de los bosques a la respuesta al cambio climático (ciclos de vida más largos).

Todos los cambios en la productividad que han sido descritos van a generar potencialmente cambios en los patrones del uso de la tierra en las superficies agrícolas. Estos cambios son evaluados en una sección posterior.

FIGURA 4.4

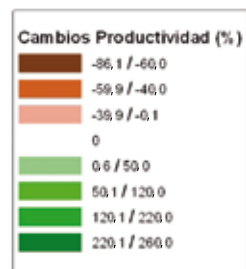
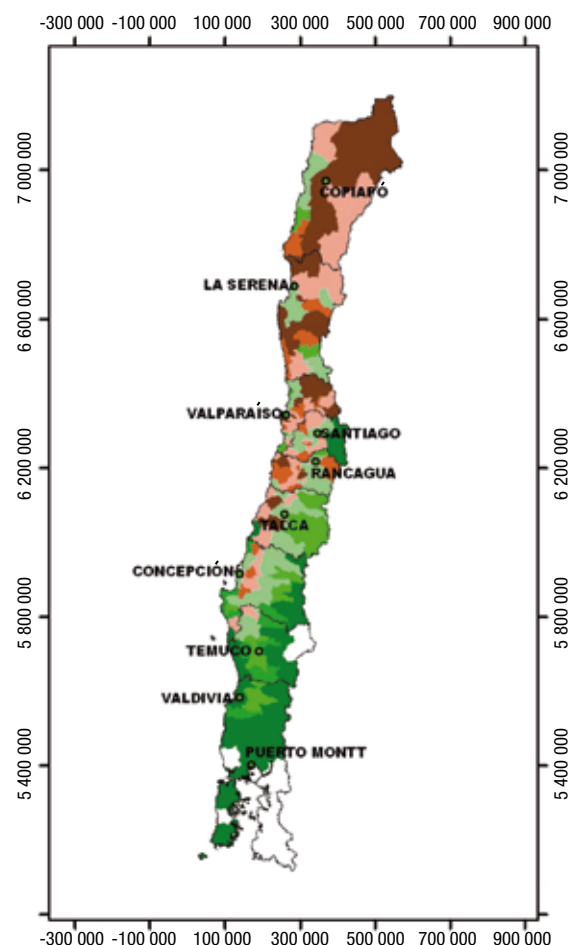
**CHILE: CAMBIOS EN LA PRODUCTIVIDAD EN EL PERÍODO INTERMEDIO PARA
TRIGO EN SECAÑO, VIDES, PRADERAS NATURALES Y
PINO RADIATA PARA EL ESCENARIO A2 ^a**

a) Trigo en seco



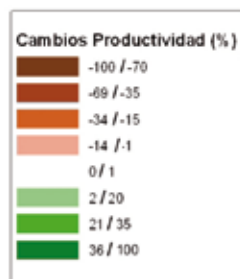
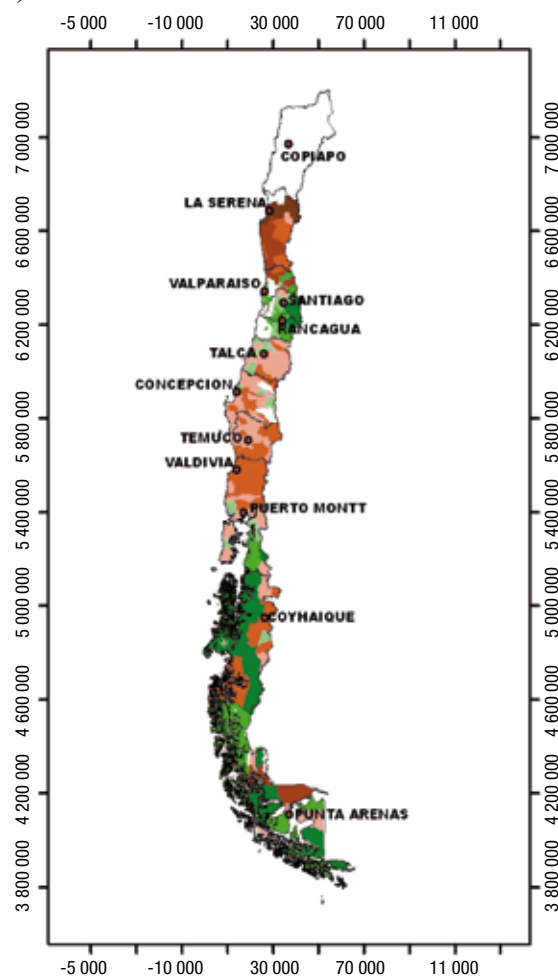
0 50 100 200 300 400
Kilómetros

b) Vides



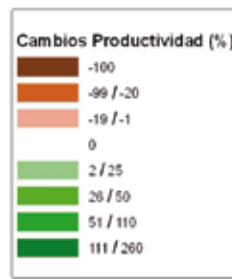
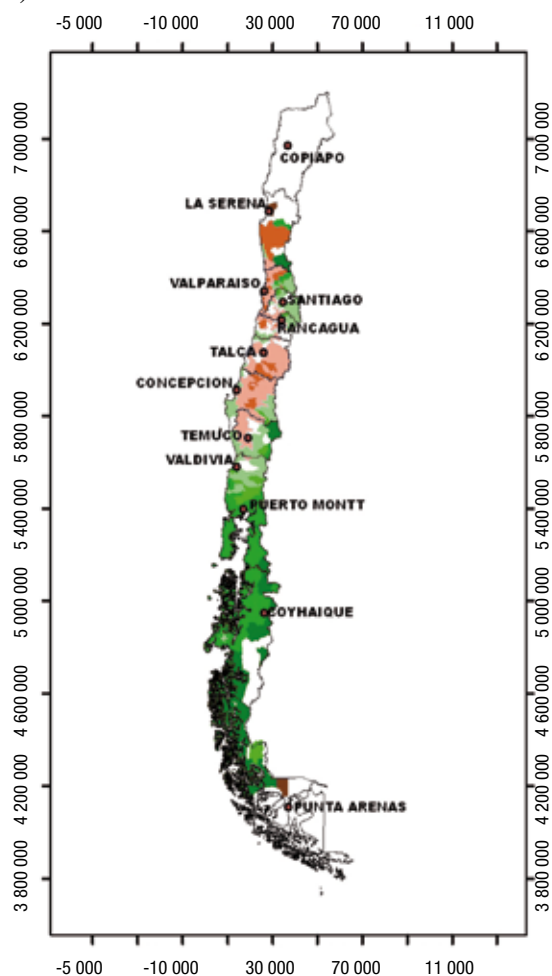
0 50 100 200 300 400
Kilómetros

c) Praderas naturales



0 85 170 340 510 680
Kilómetros

d) Pino radiata



0 85 170 340 510 680
Kilómetros

^a AGRIMED 2008 b.

4.2.3 Reasignación del uso del suelo silvoagropecuario: impactos económicos y en la mano de obra³

Las nuevas productividades de las distintas especies del sector silvoagropecuario, asociadas a los cambios en las condiciones climáticas se traducen (manteniendo precios relativos de manera constante) en diferentes rentabilidades económicas. Cuando existen cambios relativos en estas rentabilidades existen, a su vez, reasignaciones potenciales en la composición del uso de la tierra (adaptación endógena)⁴. Los impactos económicos asociados al sector silvoagropecuario, por lo tanto, no pueden simplemente resultar de los cambios en la productividad sino que tienen que reflejar el dinamismo del sector y su potencial para reaccionar frente a los cambios percibidos. Estos impactos, por tanto, van a estar supeditados a la reasignación esperada en el uso del suelo. Estas reasignaciones también tienen asociados cambios en la demanda de mano de obra en el sector, que son analizados en una sección posterior.

Para estimar el cambio en el uso del suelo producto de las modificaciones en la rentabilidad, se desarrolló un modelo econométrico que permite determinar la composición actual del uso de la tierra en función de las productividades y utilidades netas actuales de cada cultivo. Para el desarrollo del modelo se utilizaron datos del VI y VII Censo Agropecuario (1997 y 2007). Para ambos años, se calculó la superficie total dedicada a la agricultura, la superficie de cada especie cultivada y su proporción en el total dedicada a la agricultura en cada comuna. Asimismo, se utilizaron fichas técnicas para calcular los rendimientos de las especies, sus costos fijos y variables, lo que finalmente permite estimar los ingresos netos por hectárea obtenidos para cada especie en cada comuna del país. No se considera el precio de la tierra. Este modelo es posteriormente utilizado considerando los cambios en la productividad proyectados a futuro, de acuerdo a lo presentado con anterioridad. La superficie máxima dedicada a actividades silvoagropecuarias se mantiene constante en los escenarios futuros. Es decir, no se permite en el modelo la extensión de la superficie agrícola total por comuna (esta incluye praderas y plantaciones forestales, entre otros usos). El cálculo de los ingresos netos para la línea base y escenarios futuros se realiza utilizando los precios medios de los últimos 10 años para evitar efectos puntuales por desviaciones ocurridas en un año particular y hacer comparables las estimaciones. Sin embargo, en los casos en que ocurren significativos aumentos o disminuciones en la producción se ajustan los precios de aquellos productos que tienen demandas elásticas.

En la evaluación de los impactos finales se ha considerado que existe un cierto rezago con respecto a la capacidad de adaptación endógena que tiene el sector. En este sentido, se sigue la siguiente lógica: los cambios climáticos inciden en cambios en la productividad que son percibidos por los agricultores de manera paulatina (producto de la incertidumbre introducida por la variabilidad climática). Esto motiva, por su parte, una reacción que también es paulatina, en la que existen pioneros o adelantados en el proceso de adaptación y seguidores posteriores. Se ha considerado de manera arbitraria, pero conveniente de acuerdo a la metodología genérica seguida en el estudio, que el rezago para una completa adaptación es de 30 años. En este sentido los impactos económicos en el período intermedio, por ejemplo, incluyen la siguiente estructura: un uso del suelo que se determina de acuerdo a los cambios en la productividad del primer período, pero ingresos netos asociados a la productividad del período siguiente.

³ El análisis que se presenta en esta sección es fruto de la investigación del Departamento de Economía Agraria de la Pontificia Universidad Católica de Chile “Evaluación socioeconómica del impacto del cambio climático en el sector silvoagropecuario”, realizada a solicitud de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), y de la investigación realizada por ese mismo departamento para la CEPAL.

⁴ Otros elementos que determinan el uso del territorio, por ejemplo áreas protegidas, bosques nativos o extensión de desiertos no son analizadas de manera explícita en esta sección. En otras partes del documento estos temas son mencionados brevemente.

Es importante considerar que los procesos de adaptación endógenos que se plantean en esta metodología tienen un costo de implementación asociado. El más obvio de estos, y que ha sido incorporado en el análisis, es el potencial aumento en la superficie cultivada bajo riego (ya sea por expansión de la superficie de cultivos que tiene riego o cambio de cultivos de secano a riego). Este tipo de costo (en términos de instalación de infraestructura de riego intrapredial) ha sido incorporado en los balances de ingresos netos que se presentan a continuación.

Los resultados de la aplicación de esta metodología se presentan en términos de cambios en la superficie para los grandes grupos de especies y cambios en los ingresos netos. Además, se presentan los cambios en el requerimiento de mano de obra total y femenina. La baja disponibilidad de datos en las regiones extremas limita la confiabilidad de los resultados obtenidos, razón por la cual no se presentan los resultados asociados a estas regiones.

a) Cambio del uso del suelo

En los cuadros 4.6 a 4.9 se presenta la superficie dedicada a cada tipo de especie según el escenario de cambio climático. Se desprende de estos resultados que en términos netos a nivel país no existen grandes cambios proyectados con respecto a la utilización del suelo en términos de los pesos relativos de los tres grandes grupos considerados. A nivel regional sí se ven cambios interesantes. Por ejemplo, en el caso de los cultivos y praderas naturales, en términos generales, se ven aumentos de las superficies en las regiones del Maule al norte (con excepción de la Región de O'Higgins) y disminuciones al sur. En el caso de los frutales, se puede apreciar un cambio justamente inverso al anterior. Es decir, disminución de la superficie con frutales del Maule al norte (con excepción de la Región de O'Higgins) y aumento al sur. Finalmente, la tendencia con respecto a las plantaciones forestales es similar al caso de los frutales con la excepción de la Región de Bío Bío donde hoy se concentra la mayor superficie de plantaciones y donde los cambios proyectados son más ambiguos. Se debe notar que las superficies presentadas para los períodos 2040-2070 son iguales en ambos escenarios, ya que estas provienen del cambio en el clima que se observa en el período temprano y que es común a ambos escenarios, pero que solo se manifiesta en el siguiente período.

CUADRO 4.6
CHILE: SUPERFICIE DEDICADA A CULTIVOS SEGÚN EL ESCENARIO
DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En miles de hectáreas)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	0	0	0	0	0
Coquimbo	6	2	0	2	1
Valparaíso	6	1	0	1	1
Metropolitana	20	5	0	5	2
O'Higgins	58	32	18	32	25
Maule	84	87	86	87	93
Bío Bío	126	132	154	132	153
Araucanía	156	134	142	134	156
Los Ríos	23	12	19	12	16
Los Lagos	29	63	84	63	82
Total	508	470	505	470	530

CUADRO 4.7
CHILE: SUPERFICIE DEDICADA A FRUTALES SEGÚN EL ESCENARIO
DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En miles de hectáreas)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	13	10	7	10	10
Coquimbo	35	27	21	27	32
Valparaíso	53	44	44	44	49
Metropolitana	51	58	51	58	73
O'Higgins	100	110	132	110	122
Maule	79	55	60	55	59
Bío Bío	20	22	28	22	24
Araucanía	3	3	5	3	4
Los Ríos	1	0	0	0	0
Los Lagos	1	1	2	1	2
Total	356	331	350	331	375

CUADRO 4.8
CHILE: SUPERFICIE DEDICADA A PRADERAS NATURALES SEGÚN
EL ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En miles de hectáreas)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	92	96	100	96	96
Coquimbo	3 193	3 212	3 231	3 212	3 212
Valparaíso	356	376	384	376	373
Metropolitana	192	207	234	207	200
O'Higgins	430	434	431	434	427
Maule	1 039	1 072	1 070	1 072	1 059
Bío Bío	761	726	700	726	711
Araucanía	949	946	898	946	900
Los Ríos	416	406	366	406	380
Los Lagos	752	706	653	706	668
Total	8 179	8 182	8 068	8 182	8 027

CUADRO 4.9
CHILE: SUPERFICIE DEDICADA A PLANTACIONES FORESTALES SEGÚN EL ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO
(En miles de hectáreas)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	0	0	0	0	0
Coquimbo	3	3	4	3	4
Valparaíso	54	51	52	51	52
Metropolitana	7	6	6	6	6
O'Higgins	132	142	145	142	147
Maule	486	478	470	478	476
Bío Bío	962	974	964	974	955
Araucanía	563	605	642	605	625
Los Ríos	232	251	285	251	274
Los Lagos	84	95	119	95	107
Total	2 523	2 606	2 686	2 606	2 646

b) Cambio en los ingresos netos

En el cuadro 4.10 se presentan los resultados de los ingresos netos por región y escenario de cambio climático. Esta información se muestra también de manera gráfica en la figura 4.5, donde se ven los cambios relativos de los ingresos netos totales con respecto a la línea de base para las diferentes regiones del país en el escenario A2. Se puede apreciar, en ambos casos, que en términos generales existen aumentos de los ingresos netos en la Región de Bío Bío al sur y disminución de los ingresos netos al norte de esta región. En términos netos a nivel de país, se observa que los ingresos netos disminuyen en todos los escenarios evaluados con excepción del escenario B2 para el período intermedio donde se registran beneficios. En términos relativos, se puede apreciar que el sector silvoagropecuario perdería aproximadamente un 15% de los ingresos netos en el peor escenario, y ganaría un 1% en el mejor. Las pérdidas son claramente mayores para el escenario A2. En el análisis de impactos se han incorporado los costos asociados a la introducción de infraestructura de riego en aquellas comunas que indicaran un aumento en la superficie bajo riego, lo que sucede de manera especial en las regiones del sur del país. Esta evaluación se ha tomado en cuenta solo a nivel intrapredial, sin considerar los costos asociados al desarrollo de infraestructura que asegure la provisión de agua riego a la entrada de los predios.

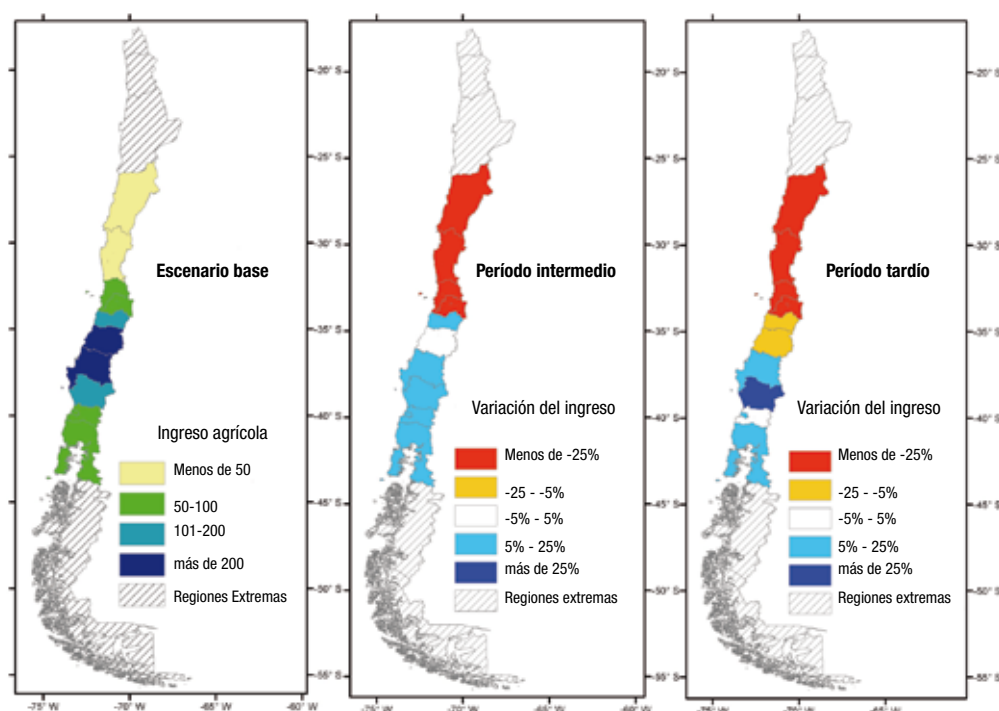
Es importante destacar que el método de estimación aplicado utiliza información obtenida de fichas técnicas, cuyos costos productivos no están directamente ligados a las comunas del país (la unidad básica de análisis del estudio). Esta limitación lleva, inevitablemente, a que los valores de referencia utilizados para generar los ingresos netos simulados difieran de la realidad particular de cada localidad productiva.

CUADRO 4.10
CHILE: INGRESOS NETOS POR REGIÓN ^A
(En millones de dólares de 2007)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	22	-17	-7	0	-16
Coquimbo	55	-37	-53	-7	-35
Valparaíso	123	55	14	99	74
Metropolitana	152	73	3	160	97
O'Higgins	335	350	257	345	381
Maule	495	480	437	489	482
Bío Bío	478	502	524	501	526
Araucanía	389	462	474	463	497
Los Ríos	209	214	222	212	216
Los Lagos	170	209	210	186	206
Total	2 428	2 292	2 081	2 447	2 428

^a Ingresos netos anuales. Los ingresos netos negativos quieren decir que los agricultores están teniendo pérdidas. Las fichas técnicas representan aproximaciones de lo que ocurre en cada explotación y, como tales, capturan mejor el sentido de las variaciones más que su valor exacto. Se usan promedios de precios de 10 años. El modelo es un modelo en desequilibrio dado que no impone una restricción de ingresos netos positivos. Esta característica permite capturar la inercia en el cambio del uso del suelo, que en el contexto del cambio climático interpretamos como el proceso de aprendizaje y adaptación a las nuevas condiciones climáticas e hídricas. El modelo no considera precios de la tierra, la productividad de los cultivos se altera por los cambios climáticos y de disponibilidad hídrica. La disponibilidad total de tierras se mantiene constante a nivel comunal. Se asume que los bienes producidos no cambian de precio excepto en el caso en que el modelo arroja aumentos drásticamente mayores (o menores) y se considera que los precios son elásticos ante cambios en la producción nacional.

FIGURA 4.5
CHILE: CAMBIOS EN LOS INGRESOS NETOS DEL SECTOR SILVOAGROPECUARIO
PARA EL ESCENARIO A2
(En miles de millones de dólares y porcentajes)



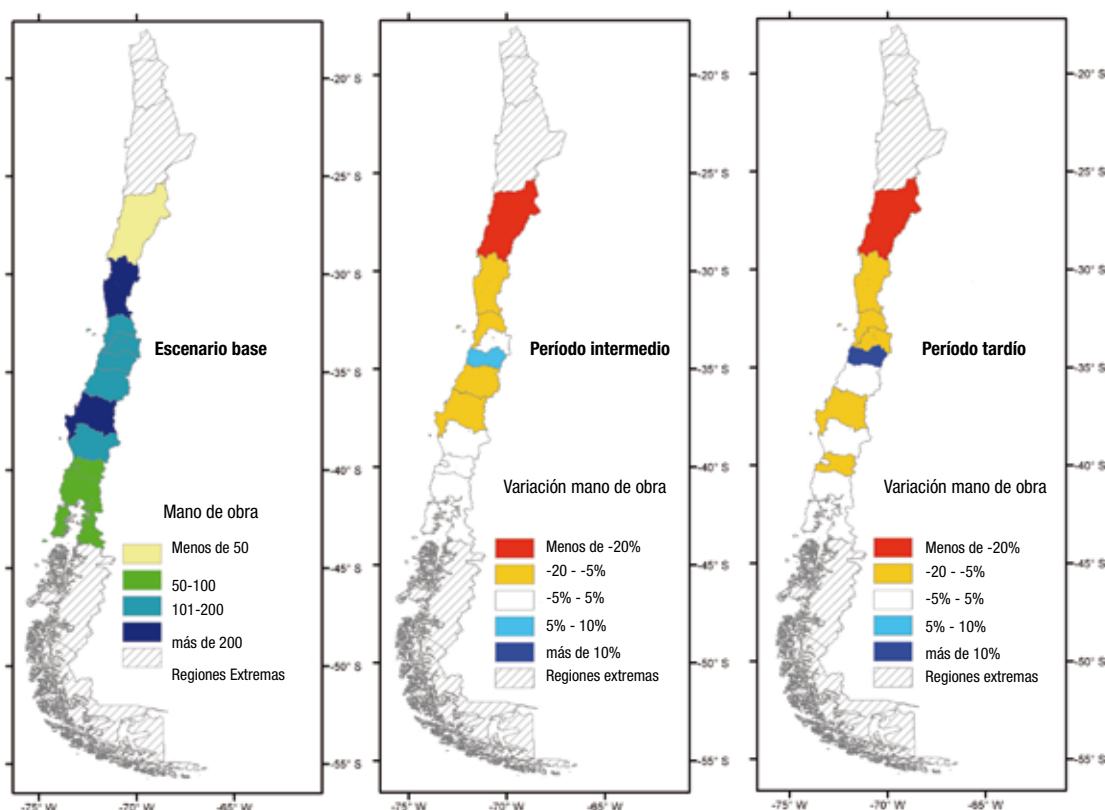
c) Cambio en la demanda de mano de obra y potenciales impactos en los procesos migratorios

Los impactos del cambio climático finalmente afectarán de una u otra manera a la sociedad. Los cambios proyectados en la productividad agrícola, especialmente en la zona centro-sur y sur del país se traducirían en cambios en la demanda de mano de obra en el sector rural. Esto implicaría, por una parte, una acentuación en la zona centro-sur de una tendencia existente en el país que indica un constante poblamiento de las urbes en desmedro de las zonas rurales, pero en la zona sur podría ocurrir el fenómeno inverso, es decir, una inmigración atribuida a un aumento de la demanda de mano de obra. En el cuadro 4.11 se presenta el requerimiento de mano de obra en número de trabajadores equivalente al año para los diferentes escenarios futuros. La información se presenta de manera gráfica también en la figura 4.6. Los resultados indican una reducción de la demanda de mano de obra en las regiones al norte de la Región Metropolitana. La Región de O'Higgins muestra un aumento en la demanda de mano de obra y, finalmente, las regiones del sur del país no muestran cambios importantes. A nivel nacional se proyecta una caída en la demanda de mano de obra del sector de alrededor del 5%.

CUADRO 4.11
CHILE: REQUERIMIENTO DE MANO DE OBRA
(En miles de trabajadores totales equivalentes al año)

Región	Línea base	Escenario A2		Escenario B2	
		2040-2070	2070-2100	2040-2070	2070-2100
Atacama	5	4	3	4	4
Coquimbo	49	45	42	45	46
Valparaíso	24	20	20	20	21
Metropolitana	24	24	22	24	26
O'Higgins	39	41	44	41	43
Maule	29	28	30	28	29
Bío Bío	47	44	44	44	43
Araucanía	26	27	26	27	26
Los Ríos	11	11	10	11	10
Los Lagos	17	17	17	17	17
Total	270	259	256	259	265

FIGURA 4.6
CHILE: CAMBIOS EN LA DEMANDA DE MANO DE OBRA EN EL SECTOR
SILVOAGROPECUARIO PARA EL ESCENARIO A2
 (En miles de trabajadores y porcentajes)



4.2.4 Impacto en ocurrencia de plagas y enfermedades

Este es uno de los puntos en que el nivel de conocimiento nacional es más bajo con respecto a los impactos en el sector silvoagropecuario. Solo es posible plantear algunas hipótesis que requieren confirmación empírica. Entre ellas, se espera que se reduzca la incidencia de enfermedades que necesitan de alta humedad o superficies mojadas. Por ejemplo, la botritis de la vid, causada por el hongo *botrytis cinerea*, vería reducida su incidencia, debido a que este patógeno necesita de factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa y el agua libre para su desarrollo (Broome et al, 1995; Bulit y Dubos, 1988; Meza, 2004).

4.3 La biodiversidad y los ecosistemas

La amplia extensión latitudinal del territorio, sumada a su relieve, determinado principalmente por la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa, y a una marcada influencia oceánica son fundamentales para comprender la variedad y diversidad de los ecosistemas de Chile. Estos ecosistemas proveen una serie de servicios a la población (los llamados servicios ecosistémicos), muchos de los cuales tienen un valor de mercado (por ejemplo, la captura de carbono en los bosques), aunque la gran mayoría no lo tiene o no se han desarrollado aún las herramientas que permitan llevar a cabo esta evaluación (como el valor del suministro de recursos hídricos en períodos críticos). Uno de los componentes asociados al valor de un

ecosistema es la biodiversidad. En este trabajo se evalúan los impactos del cambio climático relacionados con la pérdida de la biodiversidad en Chile. En este sentido, pese a aportar a un tema fundamental, los resultados de este estudio deben considerarse solo como una fracción de las consecuencias económicas que se pueden proyectar con relación al impacto del cambio climático en los ecosistemas.

En materia de conservación de la biodiversidad, Chile se caracteriza por poseer un alto nivel de endemismo, que se explica por las características del relieve. Gran parte del territorio ha sido reconocido como zona crítica (*hot spot*) en materia de biodiversidad. Sin embargo, no se cuenta con un sistema nacional formal de planificación territorial que permita asegurar la identificación de áreas de gran diversidad biológica ubicadas fuera de las áreas formalmente protegidas, situación que dificulta los avances en relación al problema de la representatividad de especies en el sistema nacional de áreas protegidas, que ha llegado a cubrir alrededor de un 20% de la superficie continental, pero no provee una adecuada cobertura de la biodiversidad total del país.

En este trabajo se analiza la respuesta de cerca de 200 especies de plantas y animales vertebrados de Chile al cambio climático, empleando modelos de su distribución geográfica, con el fin de evaluar las alteraciones de la biodiversidad. Esta modelación se realiza en un contexto espacialmente explícito y considerando los escenarios del cambio climático.

Para el caso de estudio a nivel nacional, se llevó a cabo la modelación de la distribución actual y futura de 160 especies, de las que se obtuvieron datos suficientes y modelos significativos (16 especies de anfibios, 16 especies de reptiles, 36 especies de mamíferos y 92 especies de árboles y arbustos). Las consecuencias esperadas del cambio climático en Chile dependerán fundamentalmente de las capacidades de dispersión o migración a gran escala de las especies estudiadas. Con el objeto de estimar el efecto de la dispersión, se consideraron dos escenarios extremos de respuesta: uno que presupone limitaciones de dispersión, con un rango de distribución futuro que corresponde básicamente al hábitat estable (es decir, aquel que mantiene una alta probabilidad de ser ocupado), y un segundo escenario de dispersión en el que las especies son capaces de colonizar de manera exitosa todo el hábitat idóneo nuevo disponible, producto del cambio climático, donde sea que ocurra. Los resultados obtenidos predicen que al considerar limitaciones a la dispersión, las especies retienen en promedio entre un 85% y un 77% del rango actual (dependiendo del escenario climático considerado), pudiendo llegar a perder como máximo entre un 48% y un 70% de su hábitat estable en los escenarios B2 y A2, respectivamente, lo que correspondería a una igual reducción de su rango de distribución en Chile en un escenario en el que se limite la dispersión. Por el contrario, si se asume que las especies son capaces de desplazarse y colonizar exitosamente los nuevos hábitats, las pérdidas esperadas oscilan entre el 25% y el 38% en promedio en los escenarios B2 y A2, respectivamente. En general, este patrón se mantiene en los diferentes grupos taxonómicos estudiados, con una tendencia a mayor pérdida de hábitat en el escenario A2.

Cuando se examinan los cambios esperados en las especies analizadas que están clasificadas actualmente en alguna categoría especial de conservación, se observa que para los árboles y arbustos, en el escenario más severo (A2, sin dispersión), el 59% de estas especies enfrentan reducciones de más del 20% de su rango geográfico. En el caso del escenario B2 frente a limitaciones en la dispersión, solo el 35% reducen su rango en más del 20%. En las especies animales, particularmente los mamíferos, las pérdidas más severas se evidencian en los escenarios que consideran la limitación por dispersión, observándose que entre el 44% y el 67% de las especies reducen su rango en más de un 20%. En particular, cabe destacar dos especies en peligro, el pitao (*pitavia punctata*) y el huemul (*hippocamelus bisulcus*), con respecto a las que se esperan reducciones importantes en su distribución, incluso al considerar un escenario con dispersión ilimitada.

4.4 Los recursos costeros y el aumento del nivel de mar

En esta sección se realizan dos tipos de análisis: los impactos en los recursos pesqueros y acuícolas y los impactos causados por el aumento del nivel del mar.

4.4.1 Los recursos pesqueros y acuícolas

Pese a la relevancia de estos sectores para la economía del país y su relación con el clima, actualmente Chile no cuenta con un nivel de investigación aceptable acerca de los efectos del cambio climático sobre las actividades pesquera y acuícola. Sin embargo, se puede conjeturar que muchos de los potenciales impactos mencionados con anterioridad afecten a estas actividades.

Un impacto potencial del cambio climático (todavía en debate) está relacionado con los cambios en la frecuencia de ocurrencia e intensidad de fenómenos como El Niño y La Niña y su repercusión en el sistema de la corriente de Humboldt. Este es uno de los ecosistemas más productivos del planeta y se caracteriza por un flujo hacia el norte de aguas superficiales subantárticas y por zonas de surgencia de aguas frías subsuperficiales, ricas en nitratos, fosfatos y otros nutrientes. Las interacciones entre el océano y la atmósfera y el forzamiento de los vientos sobre la superficie del océano están íntimamente ligados a los cambios de escenario de los modelos del cambio climático y afectarán el funcionamiento de los sistemas oceanográficos del Pacífico suroriental. En Chile y el Perú, estos cambios podrían afectar negativamente la elevada productividad primaria que caracteriza al sistema de Humboldt. Íntimamente ligada a lo anterior está la posibilidad de que también aumente la ocurrencia de eventos con mínima concentración de oxígeno que tienen efectos negativos en la fauna marina y costera.

Por otra parte, los cambios en la temperatura o en la salinidad de las aguas donde se concentran los cultivos marinos (por ejemplo, el mar interior de Chiloé) podrían causar la diseminación de enfermedades. Un ejemplo sería el cambio en la distribución del llamado “piojo del salmón” (*caligus rogercresseyi*) por el aumento de la temperatura del mar. Este parásito afecta la capacidad de crecimiento de los salmones, pudiendo incluso causar la muerte de individuos debido a heridas; en consecuencia, provoca pérdidas en la industria salmonera. En estudios realizados principalmente en el hemisferio norte se sugiere que una elevación en la temperatura del mar aumentaría la distribución de este parásito. Sin embargo, no existen conclusiones acabadas en este tema, especialmente para el caso chileno.

4.4.2 El aumento del nivel del mar

El nivel medio del mar cambia debido a las variaciones del volumen total de los océanos, causadas principalmente por alteraciones en la temperatura a escala global. La causa más importante del aumento reciente del nivel del mar a escala global es la expansión o dilatación térmica del agua, responsable del 80% de la variación observada en el último siglo. Otra consecuencia importante es el cambio en el balance de la masa de los glaciares continentales (alrededor del 15%). Existen evidencias históricas y proyecciones futuras que indican aumentos sostenidos en el nivel del mar. En el caso de Chile, estas proyecciones tienen que ser contrastadas con los efectos del solevantamiento costero o subsidencia provocados por los procesos tectónicos que, a pesar de actuar a nivel local, pueden generar efectos comparables a los causados por el nivel del mar, especialmente en un país con fuerte actividad sísmica como Chile. Se ha llevado a cabo un análisis prospectivo de las tendencias del nivel del mar en las inmediaciones de la costa chilena y los resultados son ambiguos, con disminuciones del nivel en el norte del país y alzas en el sur. Es probable que estas diferencias se deban, en parte, al efecto recién mencionado de los cambios en el nivel relativo de la tierra a causa de actividades sísmicas. Queda mucho por hacer en este sentido para poder determinar cuál será la superficie afectada de acuerdo a las proyecciones del aumento medio del nivel del mar.

Por otra parte, este aumento no es el único tema de relevancia en el momento de analizar los impactos en las costas chilenas. Otros temas que deben considerarse son los cambios en los eventos extremos, la altura de olas, la intensidad de los oleajes y los cambios en la intensidad y dirección de los vientos. Estos fenómenos pueden afectar la infraestructura costera (en cuanto a su integridad y operación) y los sistemas naturales en mayor grado que el alza del nivel del mar. Sin embargo, no existen aún en Chile las herramientas ni la información requerida para hacer este tipo de análisis (como se realizó en otras regiones, como España), algo que debería llevarse a cabo en el futuro.

4.5 La salud

Es posible que el cambio climático aumente la ocurrencia de algunas enfermedades tropicales que requieren de un vector para su transmisión, como la malaria y el dengue. Estas dos enfermedades no están presentes en Chile, aunque en su extremo norte, las condiciones podrían ser eventualmente favorables para su desarrollo, por lo que no se puede descartar su ocurrencia. Por otra parte, con respecto a los efectos directos del cambio climático, las mayores temperaturas impactan en la salud al menos por dos vías: el aumento de la mortalidad y otras patologías, y el aumento del ozono troposférico, con sus consiguientes efectos negativos en la salud. Todos estos efectos han sido estudiados tomando en cuenta los registros históricos (Bell et al., 2008), sin embargo, no se ha establecido aún la relación entre el cambio climático y la frecuencia de ocurrencia para poder llevar a cabo la evaluación económica respectiva.

4.6 La demanda de energía

Como se indicó con anterioridad, el cambio climático provoca una potencial reducción en la generación hidroeléctrica del país. Con respecto a las repercusiones en la demanda de energía, no es claro cuál es la relación existente entre esta y los cambios en la temperatura. En regiones del planeta con condiciones climatológicas similares a las de Chile pero con un mayor nivel de ingreso (véase el caso de California en Miller et al., 2008), el aumento de la temperatura podría implicar un aumento en la demanda de la electricidad que se utiliza en los sistemas de aire acondicionado. Por otra parte, una elevación de las temperaturas mínimas podría disminuir la demanda de electricidad asociada a la calefacción. Este tipo de efectos no han sido analizados aún para el caso de Chile y sería recomendable realizar estudios con mayor profundidad al respecto.

4.7 Las tendencias de los eventos extremos

Los impactos que se han presentado en este estudio están asociados a cambios en las condiciones medias (sobre una base de 30 años) de la producción de ciertos sectores económicos del país. Sin embargo, los mayores impactos asociados al clima suceden cuando ocurren eventos extremos, como sequías o inundaciones. Utilizando los mismos modelos considerados en el análisis de incertidumbre descrito en el primer capítulo de este informe, se realizó un análisis de la variabilidad climatológica proyectada a futuro para tener una aproximación de los potenciales impactos relacionados con estos eventos.

Los resultados muestran un marcado aumento en la probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía, especialmente en los períodos intermedio y tardío, comparados con la línea base. Por ejemplo, tomando como métrica que una sequía corresponde a una situación en la que se registran dos años consecutivos con precipitación anual menor al percentil 20 de la línea base, un 30% de los modelos proyectaron que para fines del siglo XXI este tipo de eventos ocurriría unas 14 veces en un período de 30 años, es decir, prácticamente una sequía permanente.

Por otra parte, los resultados muestran que, pese a que el número de eventos de precipitación extrema tiende a decrecer en gran parte del país (de acuerdo con la noción de que la precipitación disminuye), la ocurrencia de eventos de alta precipitación en días con temperaturas elevadas aumenta con respecto a la situación base. Esto tiene importantes implicaciones, ya que el incremento de la línea de la isoterma cero en las llamadas tormentas cálidas tiene el efecto de aumentar considerablemente el caudal de los ríos, generando importantes catástrofes por inundaciones, además de otros impactos como los ya mencionados para el caso de la provisión de agua potable en el sector sanitario.

En el futuro será necesario evaluar los impactos económicos relacionados con los cambios en estos eventos extremos. En general, la relación entre el clima y la economía no es lineal, por lo que el análisis de las condiciones medias no es suficiente para evaluar todos los costos económicos asociados al cambio climático.

4.8 La infraestructura

De acuerdo con la información brindada, es posible prever que un aumento en la frecuencia de las inundaciones, ya sea asociado a cambios en la variabilidad climática o a un aumento en el número de las tormentas cálidas, implicará un impacto en las condiciones de operación y la integridad de la infraestructura vinculada a las comunicaciones (camino) o a la infraestructura en el sector de la salud o la educación. También se puede prever que un aumento en los niveles de precipitación en el altiplano pueda causar aluviones (cabe recordar el aluvión acaecido en la región de Antofagasta en 1991, con pérdidas económicas estimadas en aproximadamente en 349 millones de pesos chilenos en el sector de la salud, 698 millones de pesos chilenos en educación y 382 millones de pesos chilenos en infraestructura vial) (BID/CEPAL, 2007)⁵. Por último, los cambios en las condiciones meteorológicas y oceanográficas costeras pueden tener impactos importantes en la operación e integridad de las obras de infraestructura de la zona. Estos potenciales efectos justifican que estos temas sean abordados en estudios futuros del impacto del cambio climático en Chile.

4.9 La agregación de los impactos

Como se describió en el capítulo 3 de este documento, el cambio climático podría afectar a todos los sectores socioeconómicos de manera directa o indirecta. Sin embargo, ya sea por la falta de herramientas que permitan evaluar los impactos de manera física o la carencia de información detallada para realizar una evaluación económica, el análisis en esta oportunidad se llevó a cabo para un subconjunto de sectores. En el cuadro 4.12 se presenta un resumen de los impactos esperados para todos los sectores analizados en el estudio. En la figura 4.7 se presentan estos impactos de manera esquemática, asociados a las proyecciones climáticas. Como puede apreciarse en el cuadro 4.12a, algunos sectores han sido analizados en detalle, lo que ha permitido obtener resultados en términos del impacto económico para diferentes períodos temporales y escenarios climáticos. A continuación se detallan los sectores analizados:

- Sector silvoagropecuario: por medio del análisis, se han obtenido cambios en la producción y los ingresos netos a nivel comunal para todo el país.
- Sector hidroeléctrico: se obtienen impactos económicos a nivel nacional vinculados al aumento de la generación a partir de carbón, debido a la pérdida de generación hidroeléctrica de las centrales instaladas en la actualidad.

⁵ Esto equivale a 1 millón, 2 millones y 1,1 millones de dólares de 1991, respectivamente. El tipo de cambio promedio de 1991 fue 349 pesos por dólar (véase [en línea] www.bcentral.cl).

- Sector sanitario: se obtiene el impacto económico producto del alza de las tarifas de provisión de agua potable en la región Metropolitana.

Los resultados económicos para estos sectores han sido agregados de acuerdo a una metodología que se presentará a continuación. Sin embargo, es importante destacar que los cálculos realizados representan una visión conservadora de la evaluación completa de los impactos económicos probables para el país. Las dos razones principales son:

- La falta de algunos sectores relevantes en la evaluación económica como, por ejemplo, la minería y la salud (véase el cuadro 4.12b).
- La evaluación de los impactos contempla condiciones climáticas medias. Sin embargo, es posible prever que los costos del cambio climático no sean lineales con respecto a los cambios del clima y, por lo tanto, una evaluación basada en promedios puede subvalorar los impactos reales.

CUADRO 4.12

CHILE: RESUMEN DE LOS IMPACTOS SECTORIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

a) Sectores incluidos en el análisis económico

Sector	Impactos esperados	Supuestos de valoración económica
Recursos hídricos e hidroeléctricos	Menor disponibilidad de agua en cuencas y, por ende, menor generación de electricidad.	Cambio en la generación de electricidad desarrollado a través de una simulación hidrológica y el uso de relaciones estadísticas entre hidrología y generación. Este trabajo se realiza en dos sistemas hidroeléctricos y se extrapola después al resto del país. Las pérdidas se compensan con generación a partir de carbón.
Recursos hídricos y agua potable	Menor disponibilidad de agua en períodos de déficit para la cuenca del río Maipo.	El cambio en la oferta en períodos extremos se compara con los cambios en la demanda. El déficit se suple con la compra de derechos.
Silvoagropecuario	Cambios en la productividad con diferencias regionales y por especies.	Cambios en la productividad que implican alteraciones en la rentabilidad y las reasignaciones mediante un proceso de adaptación. Se consideran impactos por déficit de riego y costos de implementación de infraestructura de riego intrapredial.

b) Sectores no incluidos en el análisis económico

Sector	Impactos esperados	Nivel de conocimiento
Recursos hídricos y minería	Menor disponibilidad de agua en cuencas donde existen faenas mineras.	Se considera un impacto con alta probabilidad de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.
Biodiversidad y ecosistemas	Pérdida de la biodiversidad vegetal y animal en el país. Impactos ambientales y económicos asociados a servicios ecosistémicos.	Se considera un impacto con alta probabilidad de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.
Zonas costeras	Impactos asociados al alza del nivel del mar y cambios en patrones climatológicos y oceanográficos.	No existe información suficiente para determinar la probabilidad de ocurrencia de este tipo de impacto.
Recursos pesqueros	Cambios en la productividad primaria debido a alteraciones en los patrones climatológicos y oceanográficos.	No existe información suficiente para determinar la probabilidad de ocurrencia de este tipo de impacto.
Recursos acuícolas	Cambios en la distribución de enfermedades que afectan al sector acuícola.	No existe información suficiente para determinar la probabilidad de ocurrencia de este tipo de impacto.

(Continúa)

Cuadro 4.12 (conclusión)

Energía	Aumento de la demanda debido al uso de equipos de aire acondicionado.	Se considera un impacto con probabilidad media de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.
Eventos extremos: sequías	Aumento en la frecuencia de eventos de sequía.	Se considera un impacto con alta probabilidad de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.
Eventos extremos: inundaciones	Aumento en la frecuencia de tormentas cálidas e inundaciones asociadas.	Se considera un impacto con probabilidad media de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.
Infraestructura	Costos elevados por destrozos causados por eventos extremos (inundaciones e impactos en zonas costeras).	Se considera un impacto con probabilidad media de ocurrencia, cuya evaluación económica requiere la elaboración de mejores herramientas.

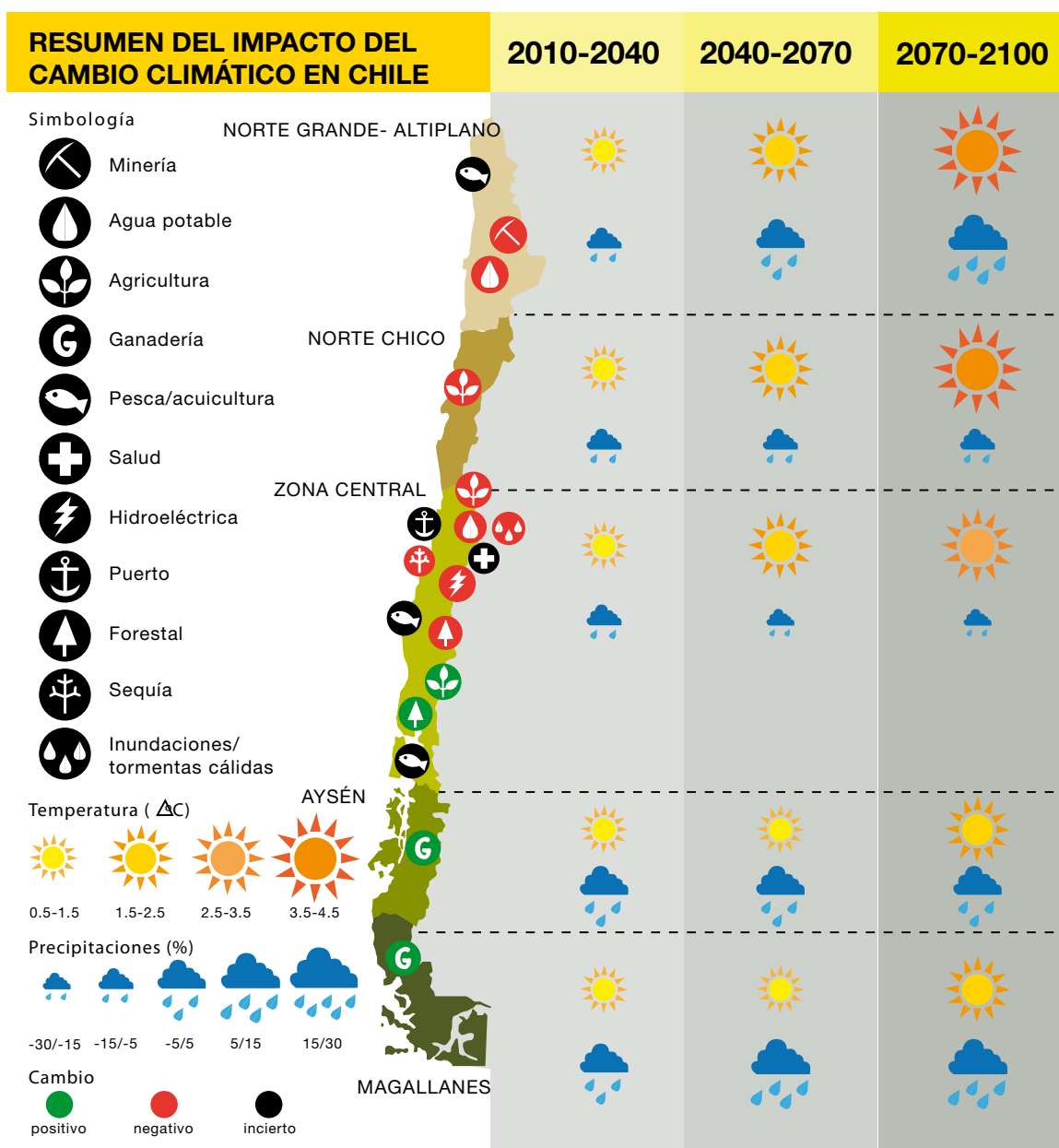
En la metodología de agregación de los impactos económicos se reconoce que los efectos en cada uno de los sectores evaluados económicamente repercuten en otros sectores de la economía. Por ejemplo, un impacto en el sector silvoagropecuario repercute en el sector industrial (agroindustria) y, a su vez, los impactos en ambos sectores tienen repercusiones en la recaudación de impuestos. Para llevar a cabo el análisis de estas interrelaciones, se ha utilizado la metodología de la matriz de insumo-producto, que reconoce las interrelaciones entre los distintos sectores de la economía. La llamada matriz de coeficientes técnicos, que se desarrolla a partir de la matriz de demanda intermedia, se utiliza para evaluar los efectos indirectos vinculados a los impactos en cada uno de los sectores productivos considerados en la evaluación económica. No se han incluido en el análisis las potenciales consecuencias en materia fiscal.

Estos análisis se llevan a cabo en períodos temporales futuros, lo que implica proyectar el impacto de acuerdo a una condición económica futura. Esta proyección se realiza utilizando la misma tasa de crecimiento del PIB que se presentó en el capítulo 2. Las series anuales de impactos obtenidos se calculan en su valor presente utilizando cuatro tasas de descuento diferentes: 6%, 4%, 2% y 0,5%, sumadas de acuerdo a dos horizontes de tiempo: 2050 y 2100. En los cuadros 4.13 y 4.14 se presentan los impactos directos, indirectos y totales para estos dos horizontes de tiempo y cuatro tasas de descuento en millones de dólares.

Los resultados muestran que los impactos económicos del cambio climático hasta ahora evaluados en Chile son significativos. En términos absolutos, la agregación del valor presente de impactos indica que en el escenario A2 habría un costo que fluctúa entre 22.000 millones y 320.000 millones de dólares, dependiendo de la tasa de descuento empleada y el horizonte considerado. Con respecto al escenario B2, la situación es más ambigua, ya que los resultados indican un rango que fluctúa entre un beneficio neto de 25.000 millones de dólares a un costo de 40.000 millones de dólares, dependiendo de la tasa de descuento utilizada y el horizonte considerado. A modo de referencia, cabe mencionar que el PIB del país para 2008 fue de aproximadamente 120.000 millones de dólares. Los resultados no son equivalentes en todos los sectores, identificándose con este ejercicio ciertos sectores económicos (el sector agrícola distinguido del sector frutícola) que se podrían ver beneficiados con el cambio climático en el futuro. Los impactos asociados al escenario A2 son mayores que los del escenario B2, que presenta beneficios importantes para el sector agrícola especialmente a fines de siglo. Para dar un mayor contexto a los números de los cuadros 4.13 y 4.14, se presenta en el cuadro 4.15 la suma de los valores actuales de los impactos, dividida por la suma de los valores actuales del PIB base proyectado para el mismo horizonte. De acuerdo con este análisis, encontramos que la agregación de los impactos económicos del cambio climático indica que Chile (en los sectores incluidos en el análisis de acuerdo a lo presentado en el cuadro 4.13) podría llegar a perder un 1,1% anual durante todo el período de análisis, es decir, hasta 2100, en el escenario A2. En el caso del escenario B2, la situación es más ambigua, presentándose desde una pérdida anual del 0,5% para la proyección hasta 2050, hasta una ganancia anual del 0,09% para la proyección hasta 2100 y una tasa de descuento del 0,5%.

FIGURA 4.7

CHILE: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LAS PROYECCIONES CLIMÁTICAS FUTURAS ^a



^a Se indican impactos sectoriales y proyecciones climáticas (para el escenario A2). Con respecto a los impactos sectoriales se consideran tres alternativas: los colores rojo o verde implican un impacto negativo o positivo respectivamente; el color negro corresponde a sectores donde se requiere más conocimiento para poder desarrollar una evaluación de impactos.

CUADRO 4.13
CHILE: AGREGACIÓN DE LOS COSTOS ECONÓMICOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO HASTA 2050
(En millones de dólares y en términos absolutos)

Sector	IMPACTOS DIRECTOS							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-2 889	-2 115	-4 790	-3 513	-8 233	-6 058	-12 645	-9 334
Frutícola	15 038	10 528	22 811	15 413	36 194	23 514	52 719	33 212
Silvícola	-1 486	-1 201	-2 435	-1 980	-4 145	-3 392	-6 327	-5 205
Ganadero	903	702	1 139	789	1 448	824	1 739	757
Hidroeléctrico	2 855	2 311	4 280	3 496	6 698	5 522	9 648	8 010
Agua potable	40	52	60	78	95	121	139	172
Total de impactos	14 460	10 277	21 065	14 282	32 058	20 530	45 272	27 612

Sector	IMPACTOS INDIRECTOS							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-2 011	-1 472	-3 334	-2 445	-5 730	-4 217	-8 802	-6 497
Frutícola	7 320	5 125	11 104	7 503	17 619	11 446	25 663	16 167
Silvícola	-1 465	-1 184	-2 400	-1 952	-4 085	-3 344	-6 237	-5 131
Ganadero	1 000	778	1 261	874	1 604	912	1 926	838
Hidroeléctrico	2 684	2 172	4 024	3 286	6 297	5 191	9 070	7 530
Agua potable	17	22	25	33	40	51	58	72
Total de impactos	7 545	5 440	10 680	7 298	15 744	10 040	21 679	12 980

Sector	IMPACTOS TOTALES							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-4 900	-3 587	-8 124	-5 959	-13 963	-10 275	-21 447	-15 831
Frutícola	22 358	15 652	33 916	22 916	53 813	34 960	78 382	49 379
Silvícola	-2 951	-2 385	-4 836	-3 933	-8 230	-6 736	-12 564	-10 336
Ganadero	1 903	1 480	2 400	1 663	3 052	1 736	3 664	1 595
Hidroeléctrico	5 539	4 483	8 304	6 782	12 995	10 714	18 719	15 541
Agua potable	56	74	85	110	135	171	197	245
Total de impactos	22 005	15 717	31 745	21 580	47 802	30 569	66 950	40 592

CUADRO 4.14
CHILE: AGREGACIÓN DE LOS COSTOS ECONÓMICOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO HASTA 2100

(En millones de dólares y en términos absolutos)

Sector	IMPACTOS DIRECTOS							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-6 249	-5 739	-15 627	-15 707	-46 677	-51 137	-118 725	-137 305
Frutícola	24 283	14 149	52 396	27 070	140 359	64 877	338 694	147 506
Silvícola	-2 671	-2 322	-6 053	-5 408	-16 270	-14 911	-38 449	-35 790
Ganadero	966	457	1 493	141	3 230	-973	7 649	-3 252
Hidroeléctrico	3 986	3 282	7 745	6 430	18 371	15 253	40 707	33 592
Agua potable	53	62	96	101	204	178	401	282
Total de impactos	20 367	9 889	40 051	12 628	99 217	13 287	230 278	5 033

Sector	IMPACTOS INDIRECTOS							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-4 350	-3 995	-10 877	-10 933	-32 489	-35 593	-82 637	-95 570
Frutícola	11 821	6 888	25 506	13 177	68 326	31 582	164 874	71 805
Silvícola	-2 633	-2 288	-5 966	-5 330	-16 038	-14 698	-37 900	-35 278
Ganadero	1 070	506	1 654	157	3 577	-1 078	8 470	-3 601
Hidroeléctrico	3 747	3 085	7 281	6 045	17 270	14 339	38 269	31 580
Agua potable	22	26	40	43	86	75	169	118
Total de impactos	9 677	4 221	17 638	3 159	40 733	-5 373	91 245	-30 946

Sector	IMPACTOS TOTALES							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Agrícola	-10 599	-9 734	-26 505	-26 639	-79 165	-86 730	-201 361	-232 875
Frutícola	36 104	21 037	77 902	40 248	208 685	96 459	503 568	219 311
Silvícola	-5 305	-4 610	-12 019	-10 738	-32 308	-29 609	-76 349	-71 068
Ganadero	2 036	962	3 147	298	6 807	-2 051	16 119	-6 853
Hidroeléctrico	7 733	6 367	15 026	12 475	35 641	29 593	78 976	65 172
Agua potable	75	88	137	144	290	253	570	400
Total de impactos	30 044	14 110	57 689	15 787	139 950	7 913	321 522	-25 914

CUADRO 4.15
CHILE: AGREGACIÓN DE COSTOS ECONÓMICOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO, 2050 Y 2100 ^a
(En porcentajes)

	Año 2050							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Total de impactos directos	0,44	0,31	0,45	0,31	0,47	0,30	0,48	0,29
Total de impactos indirectos	0,23	0,16	0,23	0,16	0,23	0,15	0,23	0,14
Total de impactos	0,66	0,48	0,69	0,47	0,70	0,45	0,71	0,43

	Año 2100							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Total de impactos directos	0,49	0,24	0,57	0,18	0,68	0,09	0,78	0,02
Total de impactos indirectos	0,23	0,10	0,25	0,05	0,28	-0,04	0,31	-0,10
Total de impactos	0,73	0,34	0,82	0,23	0,96	0,06	1,09	-0,09

^a Dividido por la agregación del valor presente del PIB base para los mismos horizontes.

5. Medidas de adaptación a los impactos del cambio climático en Chile

5.1 Introducción al análisis de la adaptación a los impactos del cambio climático

El ser humano tiene por naturaleza la capacidad de adaptarse a las adversidades que se le presentan. Los efectos del cambio climático probablemente no escapen a esta condición y, por lo tanto, van a existir en el futuro opciones, medidas y políticas que permitan reducir las consecuencias económicas, sociales y ambientales que se proyectan. Como se mencionó con anterioridad, esta adaptación puede adoptar diferentes formas. Por una parte, existen medidas de adaptación endógena que corresponden a la capacidad de reacción intrínseca de los actores económicos y que, por ende, no requieren un proceso de planificación externo, aunque esto no implica la ausencia de un costo económico. Este tipo de medidas de adaptación ya han sido incorporadas en la evaluación de impactos presentada en el capítulo anterior. El cambio en el uso del suelo propiciado por las modificaciones en la productividad del sector silvoagropecuario representa un buen ejemplo. Sin embargo, las medidas de adaptación pueden complementarse con otras que requerirían de un proceso de planificación o gestión adicional. Este es el tipo de medidas que se consideran en este capítulo.

En la actualidad no se han implementado medidas de adaptación que estén exclusivamente asociadas al cambio climático, aunque sí existen otras que históricamente se han implementado en el país para paliar los efectos negativos de la variabilidad climática, como las obras de protección contra las inundaciones en el río Mapocho o los embalses de regadío con capacidad de almacenaje de agua interanual. Sin embargo, no podrían considerarse medidas de adaptación al cambio climático.

Es importante tener en cuenta que, en el estudio de las medidas de adaptación, resulta fundamental reconocer la incertidumbre que existe con respecto a los escenarios futuros de las condiciones climáticas. Si no se incluye este análisis de incertidumbre, es muy probable que se realice una mala adaptación, que tal vez tenga beneficios en un escenario en particular pero no en otros. Por lo tanto, es importante considerar en primera instancia aquellas medidas doblemente beneficiosas (*win-win*) o “útiles en todo caso” (*no regret*), que otorgan grandes beneficios, incorporando de manera explícita esta incertidumbre de escenarios. Muchas de estas medidas son “blandas”, en contraposición con las medidas estructurales asociadas, por ejemplo, a la construcción de infraestructura. Ejemplos

de las medidas blandas serían la recopilación de información y las mejoras en la institucionalidad en lo que respecta al uso de recursos. Sin perjuicio de lo anterior, es posible reconocer que en ciertas regiones del país los niveles de incertidumbre son relativamente bajos, lo que permitiría adoptar medidas estructurales.

A continuación, se describen algunas medidas de adaptación que pueden tomarse para paliar los impactos de algunos de los sectores considerados en el capítulo anterior.

5.2 Los recursos hídricos

Pese a no existir hasta el momento evaluaciones explícitas sobre las medidas de adaptación orientadas a reducir los impactos del cambio climático en los recursos hídricos en Chile, es posible aprender de los trabajos realizados en otras regiones con condiciones climatológicas similares, como California, donde se han evaluado medidas de adaptación con respecto a los impactos en cuencas hidrológicas con uso de agua mixto (riego, agua potable, hidroelectricidad) (Vicuña et al., 2009). Estas medidas se orientan a flexibilizar la operación de embalses y a mejorar la gestión del agua a nivel de la cuenca tratando de reducir los impactos asociados a una reducción en los niveles de disponibilidad de agua y al cambios en la temporalidad de los caudales. Es importante destacar que, debido al alto nivel de incertidumbre de la región con respecto a los escenarios futuros, no fue posible encontrar medidas estructurales u operacionales que fueran capaces de lograr beneficios para todos los escenarios evaluados. En cambio, sí se lograban estos beneficios con las reestructuraciones institucionales orientadas a mejorar la gestión de los recursos en la cuenca.

En términos genéricos, se han propuesto una serie de medidas de adaptación (no evaluadas bajo una región o escenario específico) que apuntan a reducir los impactos proyectados en los recursos hídricos de Chile (Bitrán y Rivera, s/f). Muchas de ellas están orientadas a reponer la pérdida de almacenamiento que supone una reducción de la cantidad de agua acumulada en la cordillera en forma de nieve.

También es de esperar que en el caso de Chile, donde se observan claramente pérdidas en la disponibilidad de los recursos hídricos para diferentes sectores, se incorporen en el futuro medidas que tengan como objetivo tanto ampliar la oferta de suministro como mejorar el uso actual del recurso. En este sentido, existen medidas destinadas, por ejemplo, a aumentar la eficiencia del riego o, en el caso de la minería, a mejorar las tasas de circulación de agua o eventualmente recurrir a la desalación del agua de mar. En este último aspecto, se debe destacar que en la actualidad y debido a la escasez del recurso hídrico, la utilización directa de agua de mar ya es una opción utilizada por algunas mineras (Michilla y el futuro proyecto Esperanza), como también una planta desalinizadora en el puerto de Coloso, que abastece las operaciones de la Minera Escondida. Por otra parte, en el proyecto El Morro (III región) se considera la construcción de una planta desalinizadora que abastecería la totalidad del agua requerida para su operación. A nivel gubernamental, se está analizando el tema de la desalinización en el contexto del Comité Interministerial de Políticas Hídricas, donde se ha conformado un grupo de trabajo para el análisis de iniciativas de plantas desalinizadoras dentro del sistema de concesiones.

La introducción de medidas de adaptación a los recursos hídricos implica la constitución de mecanismos de gestión de aguas en una cuenca, considerando de manera complementaria tanto los recursos de agua superficial como subterránea. Probablemente esto último implique además una revisión de la regulación existente de los derechos de agua del país (Bitrán y Rivera, s/f).

5.3 El sector silvoagropecuario

En cuanto a la adaptación de los sistemas agrícolas, existen medidas para minimizar los cambios en la productividad a consecuencia del cambio climático (Cifuentes y Meza, 2008). En estas medidas se exploran combinaciones de gestión productiva y el uso de insumos y variedades adaptadas para hacer frente al cambio climático. Además, tal como se ha discutido anteriormente, el cambio climático provocará un aumento en los requerimientos de riego en todo el país para las especies frutales y en el sur del país para los cultivos anuales. Esto sugiere la necesidad de crear y mejorar la infraestructura de riego de dichas regiones como una medida de adaptación. Estas políticas relacionadas con el fomento del riego deberían contemplar de manera explícita los impactos del cambio climático, incluyendo el análisis de incertidumbre. Para ello es necesario incorporar herramientas efectivas en los protocolos de evaluación de obras de infraestructura y en los programas de fomento del riego en el país. De este modo, podrían evaluarse estos proyectos asumiendo que la historia climatológica e hidrológica no es suficiente para asegurar su correcto funcionamiento (los beneficios esperados) en el futuro. También es necesaria una adecuada representación de las condiciones actuales hidrológicas y de recursos hídricos en una cuenca en particular.

5.4 La biodiversidad y los ecosistemas

En el capítulo sobre los impactos del cambio climático se determinó que a nivel nacional existen para Chile serios riesgos de pérdida de la biodiversidad. También se indicó en aquella oportunidad que este peligro está ligado a las posibilidades de dispersión que tuvieran las especies en el territorio.

Continuando con este trabajo, se presenta aquí un complemento de esa evaluación para una zona en particular, la ecorregión valdiviana, donde se ha llevado a cabo una modelación dinámica que permite el seguimiento del movimiento de las especies de acuerdo a los escenarios climáticos en una serie de situaciones diferentes. Por una parte, se ha impedido el movimiento de especies más allá de las zonas en las que actualmente no hay intervención del ser humano. Otra situación contempla un escenario en el que no existe esta restricción, caracterizado en la práctica por un potencial aumento de las áreas protegidas.

Los resultados de este trabajo sobre los escenarios climáticos futuros se resumen a continuación. Para el escenario B2 se observa que, del total de especies consideradas en la modelación, una especie de los vegetales y tres de los vertebrados sufrirían un decrecimiento en su distribución mayor al 80% cuando se considera el impacto del uso humano del territorio, lo que las colocaría en peligro crítico⁶. En este escenario, al aumentar las áreas protegidas se incrementa la ocupación de estas especies, pero en solo dos casos este incremento permite que la reducción en la distribución sea menor o igual al 80%. Además de estas especies, otras nueve presentan decrecimientos iguales o mayores al 80% en ambos escenarios (con y sin considerar el uso humano del territorio). En el escenario A2 se observa que 11 especies de plantas y 6 de vertebrados tendrían un decrecimiento en su distribución mayor al 80% cuando se considera el impacto del uso humano del territorio, lo que las colocaría en peligro crítico. En este caso, el aumento de las áreas protegidas logra incrementar la ocupación de estas especies, pero en solo 11 de los casos este incremento permite que la reducción en la distribución sea menor o igual al 80%. Otras nueve presentan un decrecimiento igual o mayor al 80% en ambos escenarios (con y sin considerar el uso humano del territorio).

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, una medida de adaptación potencial para este sector sería la adquisición de terrenos aledaños a las áreas protegidas de manera de aumentar las posibilidades de dispersión de las especies. Esta medida ha sido evaluada a modo de ejemplo de

⁶ Se modelan 69 especies de árboles y 25 especies de vertebrados.

aplicación para el caso de la ecorregión valdiviana. En el cuadro 5.1 se muestran los resultados de la valoración económica en ambos escenarios, correspondientes al costo de las áreas que deberían incluirse al diseñar un sistema de áreas protegidas que sea sólido ante los cambios del clima en esta región. Es importante destacar que no se incorporan en el análisis los beneficios asociados a tal medida (es decir, el impacto que deja de percibirse al no perderse estas especies), tema que sería pertinente evaluar al decidir la mejor estrategia de adaptación en esta materia.

CUADRO 5.1

CHILE: VALORES DE HABILITACIÓN DE UNA RED DE ÁREAS PROTEGIDAS NECESARIA PARA CONSERVAR PARTE DE LA BIODIVERSIDAD QUE SE PIERDE PRODUCTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ECOREGIÓN VALDIVIANA EN LOS ESCENARIOS A2 Y B2

Usos	A2		B2	
	Superficie (En hectáreas)	Monto (En millones de dólares)	Superficie (En hectáreas)	Monto (En millones de dólares)
Agrícola	167 488	1 209	54 867	396
Bosque nativo	398 579	480	207 041	249
Forestal	122 815	681	91 769	509
Matorral	27 816	186	13 916	93
Total	716 698	2 557	367 593	1 248

5.5 La infraestructura

En cuanto a los impactos en la infraestructura asociados a las inundaciones, es importante considerar que en el futuro, si cambia la frecuencia o la intensidad de estos eventos, probablemente deba estudiarse la adopción de medidas que reevalúen los protocolos de diseño de obras de infraestructura para mejorar su resistencia. Independientemente de lo anterior, es importante indicar que las medidas que se tomen para disminuir los impactos en las vidas humanas y los costos materiales asociados a las inundaciones en la actualidad también tendrán que ser aplicadas en el futuro. En este sentido, las acciones necesarias serían mejorar las condiciones de monitoreo de caudales en las crecidas y continuar los planes de mejora de las redes de descarga de agua de lluvia de las principales urbes que fueran iniciados por el Ministerio de Obras Públicas a fines de los años noventa (Bitrán y Rivera, s/f).

Con respecto a los potenciales impactos en las zonas costeras y la infraestructura asociada, cuando existan las herramientas e información requeridas sobre la evaluación de impactos futuros, estas deberían incluirse en el diseño de obras o en los protocolos de operación que anticipen eventuales cambios oceánico-meteorológicos.

6. Emisión y mitigación de gases de efecto invernadero en Chile

Mientras que en los capítulos anteriores se puso énfasis en describir los efectos esperados del cambio climático en Chile, en este nos abocamos a evaluar cuál ha sido y cuál se espera que sea el impacto del país en la ocurrencia del cambio climático. El desarrollo económico de Chile ha sido continuo en las últimas décadas y eso ha traído una serie de beneficios económicos y sociales, pero también una consecuencia no deseada: el aumento sostenido de las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial el dióxido de carbono (CO_2), asociado principalmente al consumo de energía. Pese a no ser un país con una incidencia relevante en el contexto mundial, está claro que su aporte ha ido creciendo de manera paulatina y, de acuerdo con las tendencias que se esperan, seguirá aumentando en el futuro. En este capítulo se ofrece una perspectiva histórica y futura de los escenarios de emisión de GEI en Chile.

6.1 Emisiones históricas de gases de efecto invernadero

Si bien se han realizado diferentes estudios (POCH Ambiental, 2008; PROGEA - Universidad de Chile, 2008; INIA, 2004) a fin de cuantificar las emisiones de GEI en Chile en los últimos años, no existe un inventario que integre los diferentes sectores emisores y, por lo tanto, resulta necesario recurrir a distintas fuentes de información para evaluar la totalidad de las emisiones nacionales.

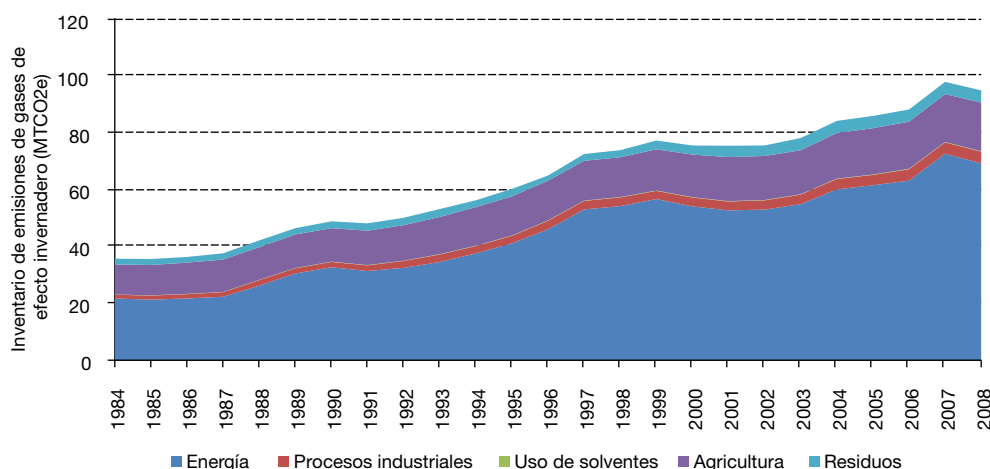
Las emisiones totales de Chile para el período 1984-2008, sin incluir al sector forestal – cambio del uso del suelo (F-CUS), se muestran en la figura 6.1. Por una parte, se puede apreciar que el país ha aumentado un 166% sus emisiones en las últimas décadas, de un total de 36 millones de toneladas de CO_2 equivalente (MtCO_2e) en 1984 a 95 millones de toneladas en 2008. En términos de emisiones per cápita, Chile pasó de 3 toneladas por persona en 1984 a 5,7 toneladas por persona en 2008. Por otra parte, se destaca que el sector de la energía domina las emisiones, con un aporte del 73% de las emisiones totales en 2008.

Con respecto al sector F-CUS, la información oficial disponible actualmente está asociada al estudio del inventario de emisiones de los sectores no energéticos realizado por el INIA (2004). Esta información cubre solo el período que va hasta 2003, por lo que no fue incluida en el análisis anterior. Sin embargo, es importante señalar que el INIA (2004) constató que el sector F-CUS ha sido históricamente un sumidero neto de emisiones, producto sobre todo de la conversión de suelos

abandonados y agrícolas a plantaciones forestales. En 2003, este efecto sumidero ascendió a unas 18,2 MtCO₂e, valor que corresponde a prácticamente un 25% de las emisiones totales presentadas para ese año en la figura 6.1. Se han realizado estudios (Gilabert y otros, 2007) que acreditan que una parte importante de este aporte como sumidero del sector se asocia al fomento de las plantaciones forestales generado a través del decreto ley 701.

A continuación se presentan las proyecciones futuras de emisión de GEI en el país.

FIGURA 6.1
CHILE: EMISIONES DE GEI TOTALES PARA EL PERÍODO 1984-2008, POR SECTOR ^a



^a Elaboración propia a partir de POCH, 2008; PROGEA-Universidad de Chile, 2008; INIA, 2004.

6.2 Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero para el período 2009-2030

Se presentan a continuación las proyecciones de emisiones de GEI de diferentes sectores para el período 2009-2030.

6.2.1 Sector energético

Como se deduce de los inventarios de emisiones pasadas de GEI, el sector energético es el principal emisor en Chile. Este sector se compone de varios subsectores, entre los que se destacan el de generación eléctrica y otras fuentes de transformación de energía y el de transporte. A estos los siguen otros subsectores con aportes relevantes, pero menores.

Las proyecciones para el subsector de generación eléctrica para los dos principales sistemas eléctricos del país (el SIC y el SING) han sido preparadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), que llevó a cabo una proyección del suministro eléctrico de largo plazo (2009-2035) mediante un modelo de optimización de suministro energético que minimiza el costo total de abastecimiento futuro considerando tanto la inversión como la operación. Para esta proyección se utilizaron como base los datos de costos existentes de tecnologías así como de sus características técnicas y las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE) respecto de su posible evolución. Asimismo, se utilizaron estudios de la CNE y antecedentes de la AIE con respecto a la evolución esperada de los precios de los hidrocarburos. Esto implica costos constantes de las tecnologías convencionales en el tiempo, costos decrecientes de las tecnologías de generación de energías renovables no convencionales (ERNC) y precios crecientes de los hidrocarburos.

Para cada tecnología se analizó la disponibilidad total del recurso y se establecieron límites a la capacidad que se puede utilizar del total de cada recurso durante el período, a fin de reflejar el hecho de que no todo el recurso puede ser técnica ni económicamente aprovechable. Además, se restringió la capacidad media anual que puede incorporarse de cada tecnología para reflejar las restricciones de ejecución de proyectos. De ese modo, se incorporaron características específicas de los potenciales nacionales y se tomó en cuenta la evolución histórica de la matriz eléctrica.

Como datos exógenos se consideraron los costos de las tecnologías (inversión y operación) y de los combustibles, así como sus características técnicas. Se tomó como base la política vigente expresada en la ley de ERNC y las acciones vinculadas al logro de la eficiencia energética.

Con estos criterios se realizó un conjunto de proyecciones suponiendo que la política energética permanece estable en todo el período⁷. El objetivo de las proyecciones fue identificar la gama de posibles resultados en términos de emisiones que pueden darse dentro del marco de la política vigente. Las variaciones pueden ocurrir en tres ámbitos:

- Nivel efectivo de eficiencia: dependiente del conjunto de decisiones individuales que afectan la demanda final.
- Aprovechamiento efectivo de la capacidad hidráulica: dependiente de las limitaciones que se definan para los proyectos específicos.
- Aprovechamiento de la capacidad de ERNC: dependiente también de las restricciones que se definan para los proyectos específicos.

En función de las variables recién descritas se estableció un conjunto de escenarios manteniendo invariadas las proyecciones de precios de hidrocarburos, costos de inversión y operación y características técnicas. En todos los escenarios se respetó el plan de obras y la demanda del informe de precio de nudo de abril de 2009, que realiza una proyección entre 2009 y 2019. Por lo tanto, las variantes que presentan los distintos escenarios se producen a partir de 2020.

Dentro de los escenarios se definió como “escenario de referencia” el que presenta menor número de restricciones. Posteriormente, se procedió a agregar en forma sucesiva mayores restricciones dentro de las posibilidades mencionadas⁸.

El escenario identificado de mayor riesgo de emisión⁹ es el de mayor crecimiento de demanda y mayores restricciones a la instalación de proyectos hídricos y de ERNC¹⁰. Este se considera el escenario base de emisiones, pues no incorpora medidas para reducir la probabilidad de su ocurrencia. Es decir, dentro de los escenarios que se evalúan en el marco de la política vigente, es el que no toma en cuenta las acciones específicas de mitigación.

En la figura 6.2 se presentan los cambios en la composición de la matriz de los sistemas SIC y SING (en términos de generación de electricidad) de acuerdo con estas dos situaciones descritas.

⁷ Por ese motivo, no se introduce la posibilidad de otras opciones tecnológicas como la energía nuclear de potencia.

⁸ Pueden existir escenarios más extremos en términos de emisión que los planteados, pero se han mantenido acotados los escenarios en virtud del argumento de que no debería existir una divergencia radical con ciertas tendencias históricas del sistema chileno.

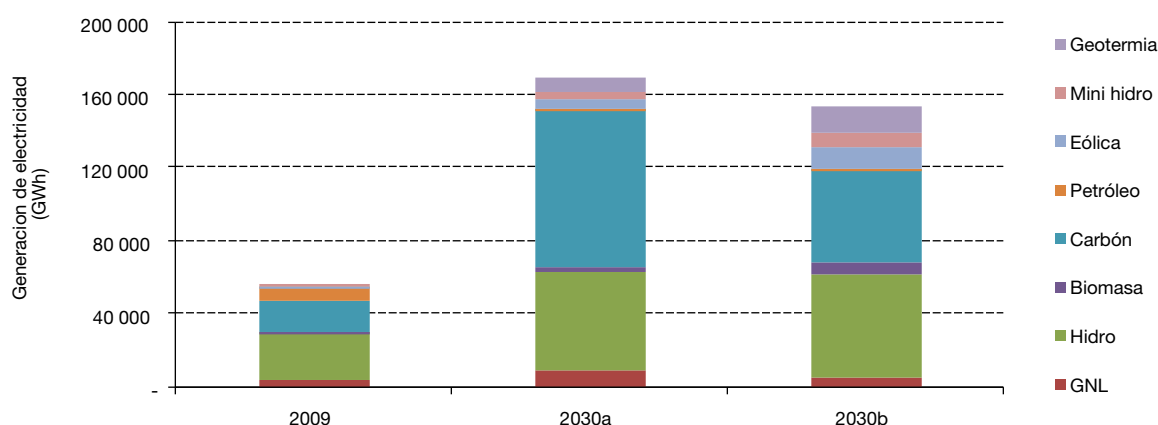
⁹ En caso de que se alteraran las variables exógenas, se podría aumentar la variabilidad de los resultados. Por ejemplo, si la tasa de crecimiento de los precios de los hidrocarburos fuera significativamente menor que la reconocida internacionalmente en la actualidad, se tendería a una matriz con mayor presencia de hidrocarburos.

¹⁰ Con respecto al nivel efectivo de eficiencia energética, se mantiene la demanda eléctrica creciendo a la misma tasa media que hasta 2019. Las restricciones en la generación hidráulica y de ERNC suponen que la instalación de estas tecnologías a futuro no es sustancialmente diferente a la observada hasta ahora.

Primero se presenta la situación actual a 2009 y después se plantean dos posibles escenarios a 2030. El escenario del medio (2030a) corresponde al escenario base en materia de emisiones ya mencionado. El escenario de la derecha (2030b) corresponde al llamado escenario de referencia, donde se imponen restricciones mínimas al desarrollo de la energía hídrica y de las ERNC y se han logrado tasas mayores de eficiencia energética. Este escenario se considerará con posterioridad como un escenario de mitigación de emisiones. Se puede apreciar que la diferencia entre ambos escenarios está dada por la cantidad de electricidad generada y por los aportes relativos de las distintas fuentes de generación, en especial carbón, hidráulica y ERNC.

Es importante tener en cuenta que en ambos casos se han considerado para la generación histórica hidráulica factores de planta que corresponden a años hidrológicos medios. Esto podría verse alterado en el futuro de acuerdo con lo presentado en el capítulo 4 con respecto a los efectos en el sector hidroeléctrico. En dicho capítulo se menciona que el impacto del cambio climático podría aumentar la necesidad de generar electricidad con carbón de 2.000GWh a 3.000GWh al año. Se destaca que los escenarios para 2030 indican una generación a carbón entre 50.000GWh y 85.000GWh aproximadamente, cifra bastante superior a la anterior.

FIGURA 6.2
CHILE: CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ DE GENERACIÓN ELÉCTRICA
DE ACUERDO CON LA SITUACIÓN BASE A 2009 Y ESCENARIOS A 2030
(En Gwh)

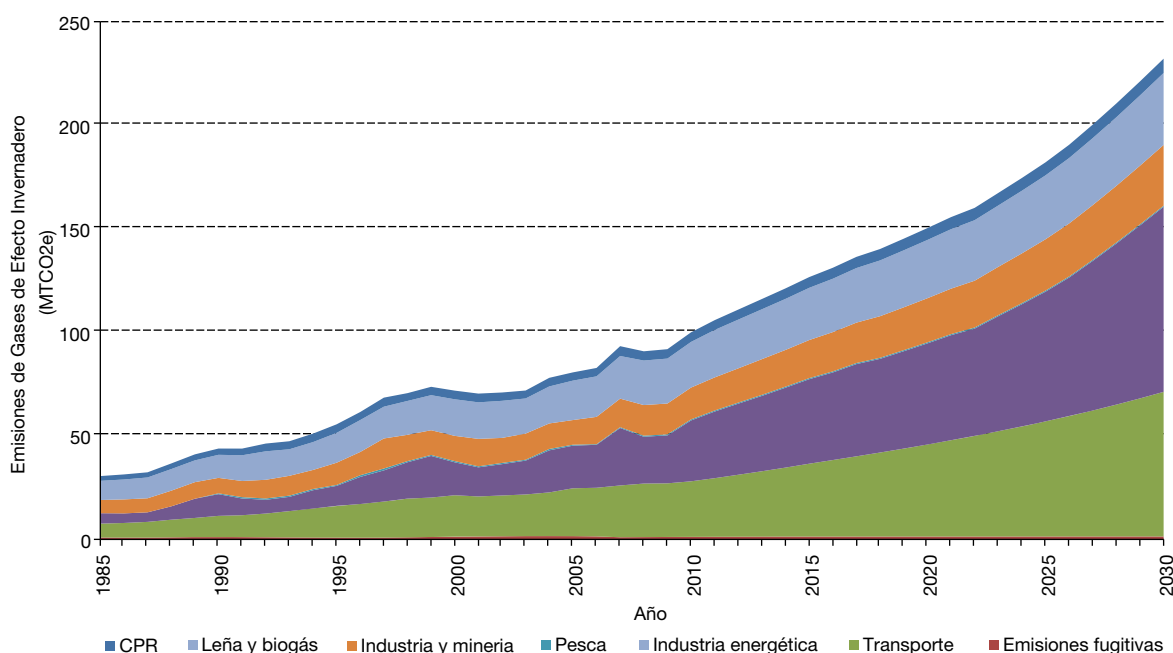


Para el resto de los subsectores del sector energético (incluida la generación eléctrica de autoprodutores y los sistemas Aysén y Magallanes) se usó la proyección de línea base de emisiones del sector energético encargada por la CNE a la empresa POCH Ambiental S.A. (POCH, 2009). El trabajo de POCH presenta resultados solo hasta 2025, pero en esta oportunidad se extendieron hasta 2030 manteniéndose las mismas tendencias de consumo de energía. Para estimar la demanda de energía no eléctrica de estos sectores se utilizaron como variables explicativas los índices históricos de actividad económica sectorial o el PIB. Para estimar las emisiones de GEI en el sector energético se emplearon las metodologías sugeridas por el IPCC. Esta estimación es más rudimentaria que la realizada para el SIC y el SING pues no considera el proceso de optimización que debería tender a manifestarse en un sistema de generación eléctrica. No obstante, dado que el aporte en términos de emisiones de estos subsectores es proporcionalmente menor, las diferencias metodológicas no son de mayor importancia.

En la figura 6.3 se observan las emisiones totales del sector energético para el período 1985-2030, desglosadas por subsectores. Para el subsector de electricidad se ha considerado como base la situación asociada al escenario 2030a de la figura 6.2, es decir, el escenario que sigue

la tendencia actual en cuanto a restricciones a la entrada de centrales hidráulicas y ERNC y de eficiencia energética.

FIGURA 6.3
CHILE: EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN EL SECTOR ENERGÉTICO
PARA EL ESCENARIO BASE ^a



^a Las emisiones por la combustión de leña y biogás se presentan en esta figura, pero posteriormente no se suman al neto total del país, ya que no implican emisiones netas (el CO₂ que se emite fue capturado previamente). CPR se refiere a comercial, público y residencial; industria energética considera principalmente al subsector de generación eléctrica, pero también a otros subsectores asociados a la conversión de energía, como la producción de petróleo refinado.

Las emisiones del sector energético casi se triplicaron y muestran un aumento del 281% entre 2009 y 2030, ya que pasaron de 70 MtCO₂e a 197 MtCO₂e (no se incluyen en este balance las emisiones del subsector leña y biogás). Los principales aumentos se han experimentado en los subsectores de transporte e industria energética.

6.2.2 Sectores no energéticos

Los otros sectores que contribuyen a la emisión de GEI corresponden al sector forestal – cambio del uso del suelo (F-CUS), al sector de procesos industriales, al sector uso de solventes y, finalmente, al de agricultura y residuos. Para todos estos sectores, con excepción del F-CUS, se han evaluado las emisiones futuras utilizando datos directos de estudios o una proyección de acuerdo con tendencias históricas. El sector F-CUS no fue incluido en el análisis debido a que, a diferencia de otros, resulta más complejo llevar a cabo proyecciones de su posible aporte de acuerdo con las condiciones históricas. El aporte puntual que logró el decreto ley 701 de fomento forestal impide extrapolar el patrón de emisiones netas históricas hacia el futuro.

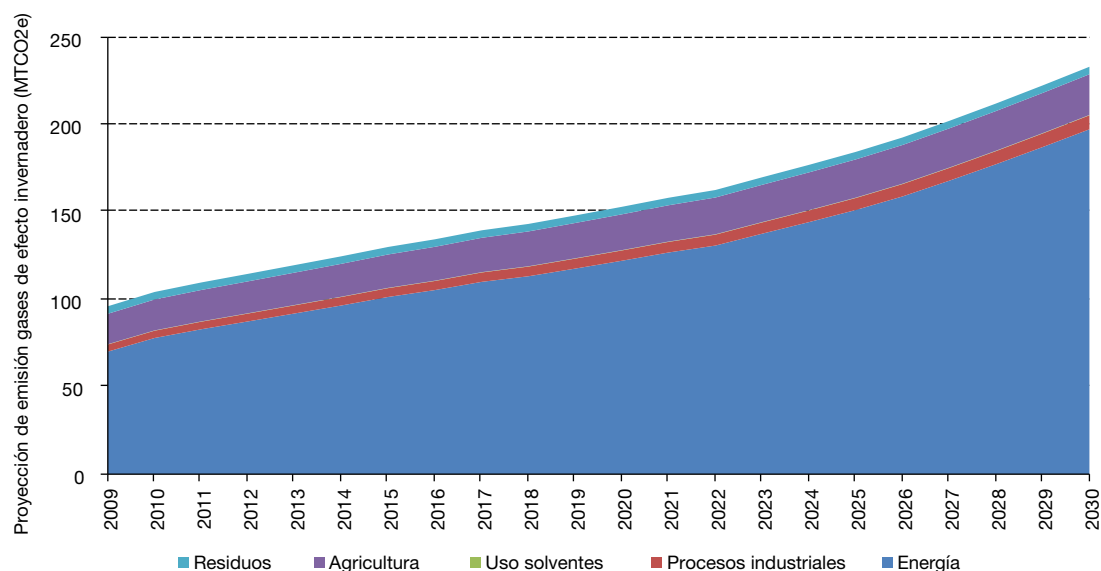
En el caso de los GEI generados directamente en los procesos industriales, el estudio PROGEA (2008) establece que las industrias de producción de cemento, hierro y acero son las más relevantes en términos relativos. La proyección de emisiones se realizó mediante la proyección de

los volúmenes de producción de esos materiales. Para el sector uso de solventes se proyectaron los datos del informe de POCH (2006). Finalmente, para el sector agricultura y residuos se proyectaron los datos del trabajo del INIA (2004).

6.2.3 Línea base nacional

Sobre la base de los aportes de los sectores energético y no energético es posible generar una proyección de las emisiones de GEI totales en el país, como se muestra en la figura 6.4 (aunque, como se mencionó anteriormente, no se incluyen las proyecciones del sector F-CUS).

FIGURA 6.4
CHILE: PROYECCIÓN DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, POR SECTOR, 2009-2030



Se observa que las emisiones totales aumentan un 243% en el período 2009-2030 (de 96 MtCO₂e a 233 MtCO₂e).

6.3 Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile

6.3.1 Sector energético

En la figura 6.4 se ve claramente que el principal sector emisor en Chile es el energético, con aproximadamente un 85% de aporte de emisiones para 2030. En este sentido, resulta crítico incorporar medidas de mitigación de las emisiones de este sector a fin de lograr reducciones importantes para el país.

Es fundamental reconocer que en Chile ya se han incorporado medidas que resultaron en una reducción significativa de las proyecciones de emisión. Estas son las llamadas acciones tempranas (*early actions*), que corresponden a acciones de mitigación que han sido adoptadas adelantándose a cualquier acuerdo formal de reducción de emisiones. En el caso particular de Chile, es posible destacar dos acciones tempranas que ya han sido implementadas en relación con

emisiones provenientes del sector de generación de electricidad. Estas forman parte del impacto en la eficiencia energética (EE) asociado al Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) y la ley de fomento a las energías renovables no convencionales (ley 20.257), que entra en vigencia en 2010. Es importante destacar que el efecto de estas medidas en cuanto a reducción de emisiones ya ha sido incorporado en la línea base de emisiones presentada con anterioridad.

El PPEE tiene el objetivo de consolidar la eficiencia energética como una fuente de energía y para lograrlo se ha trabajado en diversas políticas que buscan incentivar un uso más eficiente de la energía en todos los sectores. Principalmente, es posible mencionar el primer programa de recambio de bombillas eficientes en hogares, el etiquetado de eficiencia energética para refrigeradores y los programas de educación en eficiencia energética. También se están diseñando otros programas, sobre todo para el sector industrial, como los de recambio de camiones antiguos y motores eléctricos por otros más eficientes. En el último tiempo, se ha constatado la incorporación permanente de criterios de eficiencia energética en los hábitos de los consumidores, lo que ha contribuido a una contracción de la demanda de electricidad en el país. Considerando estas reducciones de la demanda de electricidad asociada a medidas implementadas a través del PPEE, la CNE ha ido modificando progresivamente las proyecciones para la tasa de crecimiento de la demanda de electricidad que utiliza en los estudios de estimación del precio de nudo para los sistemas SING y SIC.

Por otra parte, la ley de fomento de las ERNC establece, a partir de 2010, la obligación de las empresas eléctricas que comercializan energía en los sistemas eléctricos con capacidad instalada superior a 200 MW (SIC y SING) de acreditar anualmente que un porcentaje del total de la energía comercializada ha sido inyectado a los sistemas eléctricos por medios de generación renovables no convencionales, sean estos propios o contratados. En particular, la ley establece que entre 2010 y 2014 la obligación es del 5%. A partir de 2015 esta obligación se incrementa gradualmente un 0,5% anual hasta llegar al 10% en 2024. Esta ley tiene vigencia solo para los contratos celebrados con posterioridad al 1° de enero de 2007.

La ley 20.257 involucra reducciones en las emisiones de GEI que, al igual que en el caso de las medidas de eficiencia energética, ya han sido incorporadas en la línea base de emisiones de GEI. Se ha supuesto que si estas medidas no existieran, se produciría un aumento en la proyección de emisiones de GEI a raíz de un incremento en la generación a carbón asociado tanto a una reducción del aporte de energías renovables, de acuerdo con las repercusiones de la ley de ERNC, como a un aumento de la demanda de electricidad, de conformidad con el impacto esperado de las medidas asociadas al PPEE. En la figura 6.5 se presentan las emisiones de GEI cuando no se incluyen los programas de eficiencia energética tempranos ni la ley de fomento de las ERNC. Es interesante notar que, sin la introducción de estas medidas, la emisión de GEI al año 2030 sería casi un 18% mayor que la línea base considerada en estas proyecciones.

FIGURA 6.5
CHILE: EMISIONES DE GEI CON Y SIN INCLUSIÓN DEL APORTE DE ACCIONES TEMPRANAS



Además de los efectos de las acciones tempranas se proponen en esta oportunidad cinco escenarios de mitigación destinados a reducir las emisiones del escenario base. La definición de estos escenarios se muestra en el cuadro 6.1. Los dos primeros consideran medidas que apuntan a obtener reducciones en los sectores de generación de electricidad, industrial y residencial. Los dos escenarios siguientes están asociados a medidas en el sector del transporte. Finalmente, se considera un escenario con el máximo potencial de abatimiento.

CUADRO 6.1
CHILE: ESCENARIOS DE MITIGACIÓN CONSIDERADOS

Escenario	Electricidad	Industria	Comercial, público, residencial	Transporte
M1		EE	EE	
M2	EEMax + ERNCMax + HidroMax			
MT1				EE
MT2				Biocombustibles
MAX	EEMax + ERNCMax + HidroMax	EE	EE	EE + Biocombustibles

A continuación se describe cada uno de estos escenarios con mayor detalle.

Escenario M1: Escenario de eficiencia energética.

Este escenario considera la implementación, a través del Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), de una serie de medidas que permitan lograr una reducción de un 20% en el consumo incremental en el período 2008-2030 en los subsectores industrial y comercial-público-residencial (CPR). La cifra se basa en la información proyectada para el período 2008-2020 en el documento “Política energética: nuevos lineamientos – Transformando la crisis energética en oportunidad” (CNE, 2009) y en el supuesto de que esta tendencia lineal continúa en el período

2020-2030. Cabe destacar que no resulta evidente que la tendencia lineal de reducción asociada a la eficiencia energética (EE) continúe en el período 2020-2030 debido a que existen no linealidades en la aplicación de este tipo de medidas (las medidas más efectivas desde el punto de vista de los costos se aplican primero). Esta medida se aplica a los subsectores industria y CPR. Las medidas de EE para el subsector de electricidad se consideran en el próximo escenario.

Escenario M2: Escenario óptimo de generación eléctrica.

Como se adelantó, este escenario de mitigación (escenario 2030b en la figura 6.2) corresponde al escenario desarrollado por la CNE en el que se levantan las restricciones al ingreso de ERNC y energía hidráulica y que también incluye los resultados asociados a medidas y programas de eficiencia energética más agresivos respecto de mayores emisiones. Este escenario considera la ejecución de medidas y programas que tienen como objetivo reducir la probabilidad de ocurrencia del escenario de mayor emisión que fuera descrito con anterioridad. No implica en todo caso cambios en la normativa vigente en materia energética.

Escenario MT1: Escenario de eficiencia energética en el sector del transporte terrestre.

Aquí se considera el máximo potencial de eficiencia energética en el sector del transporte. Tal como se hizo en el escenario M1, a sugerencia de la CNE y la CONAMA, se considera el potencial de EE proyectado en CNE (2008), que considera como potencial una reducción de un 20% en el consumo incremental de combustible hasta el año 2020. Este potencial ha sido proyectado de manera lineal para cubrir el período 2020-2030. Al igual que en el escenario M1, no resulta evidente que la tendencia lineal de reducción asociada a la EE continúe en el período 2020-2030 debido a que existen no linealidades en la aplicación de este tipo de medidas.

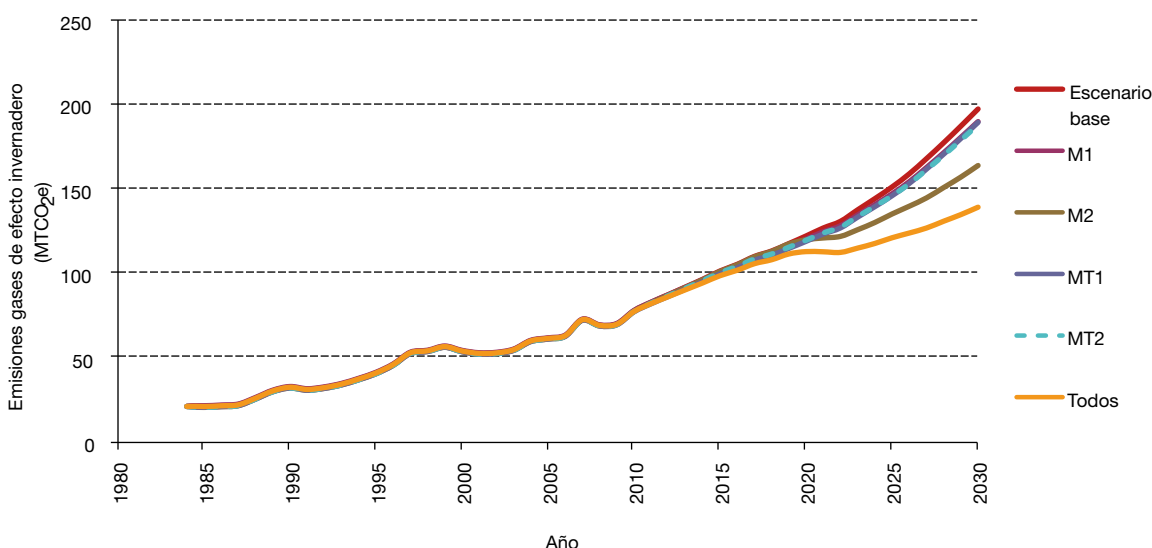
Escenario MT2: Escenario de uso de biocombustibles en el sector del transporte terrestre.

Existen muy pocos estudios que estimen el máximo potencial de uso y producción de biocombustibles en Chile. A sugerencia de la CNE y la CONAMA, se considerará el potencial de penetración de los biocombustibles proyectado en CNE (2008). De acuerdo a dicho documento, se considera que el biocombustible será utilizado solo en el sector del transporte terrestre y alcanzará en el año 2020 una penetración del 10% del consumo total de los vehículos motorizados terrestres. Sobre la base de esta información, en este escenario se considera que los biocombustibles cubrirán un porcentaje del consumo de los vehículos motorizados terrestres que aumenta linealmente de un 0% en 2009 a un 20% en 2030 (pasando por un 10% de penetración en 2020). Es importante destacar que no se describe en el documento de base cual sería el tipo de biocombustible que logrará este tipo de penetración. Esto es sumamente importante en el cálculo de las reducciones efectivas de emisión de GEI. En este caso se ha asumido que el biocombustible utilizado es producido íntegramente en el país, lo que corresponde a un escenario de mitigación posible, pero que tiene que ser estudiado con mayor detalle para determinar la posibilidad real de producción nacional de biocombustibles.

Escenario MAX: Este escenario considera el máximo potencial de reducción y corresponde a: eficiencia energética en el sector energético + escenario óptimo de generación eléctrica + eficiencia energética en el sector del transporte terrestre + uso de biocombustibles en el transporte terrestre. En este escenario se incluyen los máximos potenciales de reducción encontrados en los escenarios anteriores con respecto al escenario base (línea base de la figura 6.5).

A continuación se presentan los resultados obtenidos al estimar las emisiones de GEI en cada uno de los escenarios descritos anteriormente. En la figura 6.6 se muestra la evolución de las emisiones totales de GEI en los distintos escenarios, que se contrastan con la línea base de emisiones de GEI (línea base de figura 6.5).

FIGURA 6.6
CHILE: POTENCIAL DE REDUCCIÓN EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA EN
LOS DISTINTOS ESCENARIOS DE MITIGACIÓN



Se puede observar que el escenario M2 asociado al subsector de electricidad es el que implica un menor nivel de emisiones con respecto a la línea base. Si se aplicaran las medidas orientadas a la realización de todos estos escenarios, se lograría una reducción importante de emisiones (un 30% sobre la línea base) en los próximos 20 años. Esta situación implica reducir en un 45% el aumento (al año 2030) proyectado de emisiones con respecto a la situación actual.

Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que las medidas consideradas solo corresponden a un potencial de reducciones. Aún resta evaluar estas medidas desde la perspectiva de los costos asociados para verificar su real capacidad de implementación. Esto podría implicar que si los costos de implementación de estas medidas son demasiado elevados, el país estará en condiciones de implementar solo una fracción de este potencial.

Los resultados que se han presentado hasta el momento están expresados en términos absolutos (emisiones de GEI en MtCO₂e). Resulta interesante revisar estos valores en términos relativos, ya sea como emisión por habitante o como emisión por producto de la economía (medido por el PIB). En el cuadro 6.2 se presenta una comparación de estos tipos de métricas en diferentes escenarios y se muestran resultados tanto para las emisiones asociadas al sector de la energía como para las emisiones totales (sin incluir al sector F-CUS). Se puede apreciar que en el escenario de emisiones base existe un claro aumento de las emisiones per cápita que se duplican al pasar de aproximadamente 6 tCO₂e/hab a valores en torno a los 12 tCO₂e/hab (el aumento es de 4 tCO₂e/hab a 10 tCO₂e/hab si se consideran solamente las emisiones asociadas al sector energético). Si se lograra introducir los escenarios de mitigación descritos, el aumento sería la mitad y en este caso llegaría solo a 9 tCO₂e/hab (7 tCO₂e/hab para el sector de la energía). Con respecto a la intensidad de la economía (medida en términos de las emisiones de GEI por producto), el resultado es diferente y en el caso de la línea base no se observan cambios importantes. Esto implica de manera indirecta que no existe un desacople entre el crecimiento del país y el crecimiento de las emisiones. Sin embargo, en el escenario de máxima mitigación existe una mejora en la eficiencia de emisiones de la economía lográndose este desacople.

CUADRO 6.2
CHILE: COMPARACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN
DIFERENTES ESCENARIOS Y MÉTRICAS

Escenarios	Emisiones absolutas (MtCO ₂ e)		Emisiones relativas			
			Por habitante (toneladas/cápita)		Por producto (toneladas/ millones de dólares)	
	Energía	Totales	Energía	Totales	Energía	Totales
2009	70	96	4,1	5,7	415	568
2030 base	197	233	10,1	11,9	493	582
2030 mitigación	139	175	7,1	8,9	348	437

6.3.2 Discusión sobre costos de mitigación

La evaluación económica de los costos de mitigación es una tarea muy compleja y cuya incertidumbre es elevada. El único estudio que ha propuesto (al menos en forma preliminar) una curva de abatimiento de emisiones de GEI para Chile es el de PROGEA (2008). Sin embargo, el vínculo entre la curva de abatimiento y las medidas de mitigación contempladas en los escenarios de mitigación utilizados no es evidente. Por ello, se ha decidido no considerar dicha curva de abatimiento en esta oportunidad.

Es imperante que se realice un análisis de los costos asociados a diferentes escenarios de mitigación de emisiones en Chile. Tomando en cuenta trabajos realizados en otros contextos se observa, en general, que los costos de mitigación pueden ser elevados. Como ejemplo en el informe Stern (2007) se estima que los costos asociados al escenario de mitigación global equivalen a una pérdida aproximada de alrededor del 1% del PIB a nivel mundial. Por otra parte como ejemplo de un país en particular, en Australia se estimó una pérdida de entre un 0,7% y un 0,8% de su PIB como costo asociado a la implementación de medidas tendientes a lograr un escenario de concentraciones de GEI en torno a 450ppm (Garnaut, 2008).

En esta oportunidad, pese a que no se ha realizado un análisis sobre los costos marginales de abatimiento de emisiones para Chile, se ha querido presentar a modo de ilustración un ejercicio similar al usado en México (Galindo, 2009). En este ejercicio se asume que el costo marginal de mitigación en Chile será similar al precio de la reducción certificada de emisiones (RCE) en los mercados de carbono observado hoy día. Este ejercicio está sujeto a muchas limitaciones entre las que se puede mencionar, en primer lugar, que el precio de estas en los mercados de carbono representa la intersección de una curva de costos mundiales marginales de mitigación con la demanda de reducciones certificadas de emisiones, realidad que puede ser muy diferente a la de la curva de costos de mitigación que se pueda desprender de la realidad nacional. Además, no se sabe cómo evolucionarán sus precios en el futuro, un tema especialmente sensible al grado de compromiso global que exista con respecto al control de emisiones.

Sin embargo, este ejercicio puede servir para estimar por lo menos un orden de magnitud respecto de los costos de mitigación. Asumiendo que el valor del carbono representa el costo marginal actual de mitigación de los países sujetos a restricciones de emisiones, y asumiendo, en forma conservadora, que el costo marginal es lineal, se puede estimar el costo de mitigación para cada uno de los escenarios considerados.

Se han asumido dos escenarios de precios del carbono: uno de 10 y otro de 30 dólares por tonelada de reducción de emisiones de CO₂. A modo de referencia se puede tomar en cuenta que el precio promedio de las transacciones de bonos de carbono realizadas en la plataforma *Evolution Markets LLC* ha sido de 20 dólares por tonelada de CO₂ reducida. Con este valor de los costos de mitigación, se calcula el valor presente neto de los costos de mitigación aplicando cuatro tasas de descuento del 6%, 4%, 2% y 0,5%, equivalentes a las usadas en la evaluación de impactos económicos del cambio climático en el capítulo 4. Los resultados se muestran en el cuadro 6.3.

CUADRO 6.3**CHILE: VALOR ACTUAL NETO DE LOS COSTOS DE MITIGACIÓN EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA ASUMIENDO QUE LOS COSTOS MARGINALES CORRESPONDEN AL PRECIO DE TRANSACCIONES DE CRÉDITOS DE CARBONO^a***(En millones de dólares)*

Escenario	Costo marginal/Precio carbono							
	10 dólares/tCO ₂ e				30 dólares/tCO ₂ e			
	Tasa de descuento				Tasa de descuento			
	6%	4%	2%	0,5%	6%	4%	2%	0,5%
M1	113	150	202	255	338	450	607	766
M2	342	476	669	869	1 025	1 427	2 007	2 608
MT1	152	198	262	326	457	594	785	978
MT2	131	175	238	302	393	526	715	907
MAX	737	999	1 371	1 753	2 212	2 998	4 114	5 259

^a Se considera una curva de costos lineales, por lo que en cualquier punto en el tiempo el costo total es igual al valor del costo marginal dividido por dos y multiplicado por la cantidad de emisiones abatidas.

Es importante recalcar que lo presentado en el cuadro 6.3 es un ejercicio para destacar el orden de magnitud que estaría asociado a los costos de las medidas de mitigación en el caso de Chile. El costo real de mitigación puede superar o ser inferior al precio de las transacciones de créditos de carbono, como fuera asumido en el ejercicio.

6.3.3 Cobeneficios ambientales de mitigación en el sector energético

Chile es un país que presenta problemas de contaminación ambiental en casi todas las grandes urbes y en las zonas rurales del valle central. Como las fuentes de GEI y de contaminantes locales y regionales son muchas veces las mismas, la mitigación de emisiones de GEI brinda la oportunidad de reducir simultáneamente ambos tipos de emisiones. Estos beneficios han sido reconocidos ampliamente en la literatura y en los dos últimos informes del Grupo de trabajo III del IPCC.

Por ejemplo, las medidas de mitigación consideradas en el subsector de generación eléctrica del sector energético (medida M2) pueden producir cobeneficios al reducir la demanda eléctrica y sustituir centrales de generación térmica por otras de menores emisiones, tanto globales como locales. Esta reducción podría afectar las fechas de entrada de centrales térmicas potenciales o el parque generador, en cuyo caso, las centrales menos eficientes son las que dejarían de generar. La sustitución de centrales de generación térmica por otras sin emisiones de CO₂ tiene efecto en las emisiones de contaminantes locales (MP, SO₂, NO_x y HC) que producen efectos a nivel local: daños en la salud, en materiales, en vegetación y cultivos agrícolas y reducción de la visibilidad.

Actualmente, no es posible determinar cuál de las centrales térmicas no entraría, o retrasaría su incorporación, pero, a modo indicativo, es posible realizar el ejercicio de estimar el reemplazo de alguna de las centrales térmicas proyectadas en caso de que algunas de las centrales existentes menos eficientes dejen de generar. Para esto se ha estimado el daño unitario que cada central térmica produce. La valorización de estos daños se llevó a cabo usando el método de la función de daño, que cuantifica el impacto en cada uno de los receptores y los valoriza mediante el uso de un modelo creado para el análisis de la nueva norma de material particulado fino (PM_{2,5}) en Chile (DICTUC, 2009). El daño más importante es el aumento del riesgo de mortalidad prematura debido a la exposición de largo plazo al material particulado fino. Los daños en la salud representan

aproximadamente de un 97% a un 99% de los daños totales, en la agricultura entre un 0% y un 0,33%, en los materiales entre un 0,1% y un 0,4% y en la visibilidad entre un 0,5% y un 2%, dependiendo de la ubicación de la central.

En el cuadro 6.4 se muestran las emisiones unitarias de CO₂e de las centrales existentes menos eficientes y las centrales actualmente planificadas en el Plan de obras de la CNE. En la última columna se presenta el valor de los cobeneficios locales, expresado como el valor del daño local evitado por cada tonelada de CO₂ reducido. Estos valores varían entre 0,7 dólares y 32 dólares por tonelada de CO₂. Las principales fuentes de variación de estos valores son la densidad de población cercana a la central, que incide directamente en el daño en la salud, y el factor de emisión de contaminantes locales de la central. Estos últimos se verán afectados por la futura promulgación de la norma de emisión para centrales térmicas, pero el efecto no es mayor. Si se asume un escenario medio para dicha norma (algo más estricto que los límites propuestos por el Banco Mundial), se obtiene que los cobeneficios se reducen solo para las centrales más contaminantes, con una caída máxima de 32 dólares a 26 dólares por tCO₂ para la de mayor valor.

CUADRO 6.4

CHILE: RESUMEN DE INDICADORES DE EMISIONES Y COBENEFICIOS AMBIENTALES PARA CENTRALES A CARBÓN PLANIFICADAS Y EXISTENTES EN EL SIC/SING ^a

Año previsto de entrada	Unidades	Comuna	Sistema eléctrico	Emisión unitaria de GEI (kgCO ₂ e/kWh)	Daño local (Centavos de dólar/kWh)	Cobeneficios locales (dólares/tCO ₂ e)
Plantas existentes						
1964	Ventanas U1	Puchuncaví	SIC	1,03	3,9	38
1970	Bocamina U1	Coronel	SIC	0,92	2,7	30
1977	Ventanas U2	Puchuncaví	SIC	0,98	4,2	42
1984	Tocopilla U12 y U13	Tocopilla	SING	1,17	4,4	37
1989	Tocopilla U14 y U15	Tocopilla	SING	1,04	2,7	26
1995	Norgener U1	Tocopilla	SING	0,96	1,3	14
1996	Guacolda U1 y U2	Huasco	SIC	1,00	1,2	12
	Mejillones U1	Mejillones	SING	1,02	0,3	3
1997	Norgener U2	Tocopilla	SING	0,93	1,3	14
1998	Mejillones U2	Mejillones	SING	0,97	0,3	3
1999	CELTA U2	Iquique	SING	1,60	14,8	92
2009	Guacolda U3	Huasco	SIC	1,00	0,2	2
Plantas planificadas						
2010	Andino U1 y U2	Mejillones	SING	1,08	0,4	4
	Bocamina U2	Coronel	SIC	0,88	2,8	32
	Guacolda U4	Huasco	SIC	1,00	0,2	2
	Ventanas U3	Puchuncaví	SIC	1,03	1,6	16
2011	Angamos U1 y U2	Mejillones	SING	1,08	0,1	1
	Ventanas U4	Puchuncaví	SIC	1,03	1,6	16
2012	Complejo Coronel U1 y U2	Coronel	SIC	0,86	2,3	28
2020	Energía Minera	Puchuncaví	SIC	0,88	0,9	10
	Kelar U1 y U2	Mejillones	SING	0,86	0,3	3
	Los Robles U1 y U2	Constitución	SIC	0,86	0,4	5

^a Elaboración propia a partir de Factores de emisión de IPCC (2006) y GAMMA (2007).

6.3.4 Mitigación de emisiones para sectores no energéticos

De acuerdo con información del IPCC (2007), las mejoras en la gestión agrícola pueden reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero. La eficacia de estas prácticas depende de factores como el clima, el tipo de suelo y el sistema de cultivo. Aproximadamente el 90% de la mitigación total deriva de la intensificación de los sumideros (secuestro de carbono del suelo) y el resto de la reducción de emisiones. Las opciones de mitigación más prominentes en la agricultura son:

- Renovación de suelos orgánicos cultivados.
- Mejora de la gestión de tierras de cultivo (incluida la agronomía, la gestión de nutrientes y la gestión de cultivos y desechos) y la gestión hídrica (incluido el drenaje y el regadío).
- Mejora de la gestión de tierras de pastoreo (incluida la intensidad de pastoreo, el aumento de la productividad, la gestión de nutrientes, la gestión de incendios y la introducción de especies).
- Renovación de tierras degradadas (mediante el uso del control de la erosión, enmiendas orgánicas y enmiendas de nutrientes).

Las opciones disponibles para reducir las emisiones de fuentes, aumentar las eliminaciones mediante sumideros en el sector forestal, o ambas, se agrupan en cuatro categorías generales:

- Mantener o aumentar el área de bosques.
- Mantener o aumentar la densidad de carbono en el terreno.
- Aumentar las reservas de carbono en los productos de la madera fuera del sitio e incrementar la sustitución de productos y combustibles.

Algunos estudios (Gilabert y otros, 2007; INIA, 2004) han demostrado la importancia que tiene el sector forestal como sumidero neto de CO₂. En 2003, este sumidero representaba aproximadamente el 25% de las emisiones totales. Por lo tanto, resulta interesante considerar a futuro, como medida de mitigación, la posibilidad de potenciar este sector a semejanza de lo logrado por el decreto ley 701 y a través del manejo del bosque nativo, siguiendo los lineamientos de la ley de fomento y recuperación del bosque nativo.

7. Síntesis de la evaluación económica del cambio climático en el país

Si se recopila la información presentada en este trabajo, se puede realizar una síntesis general de los resultados obtenidos. En lo que respecta a la evaluación económica de impactos, hemos encontrado que, en aquellos sectores en los que fue posible llevar a cabo la evaluación completa, el impacto económico neto podría alcanzar un costo de más de 300.000 millones de dólares, dependiendo del horizonte considerado, de la tasa de descuento utilizada y del escenario de cambio climático evaluado. Esto equivaldría a una pérdida anual de aproximadamente un 1,1% del PIB hasta 2100. Sin embargo, no todos los escenarios evaluados indican costos netos. Por ejemplo, la agregación de impactos del escenario B2 hasta 2100 usando una tasa de descuento del 0,5% indica beneficios netos en torno a los 25.000 millones de dólares. Todo lo anterior se puede apreciar en el resumen de costos que se presenta en el cuadro 7.1. En términos generales, se puede observar que los impactos asociados al escenario A2 (el de mayor emisión de GEI) son mayores que los que se asocian al B2. Como se mencionó, este último incluso proyecta beneficios netos para el horizonte que considera los últimos 50 años del siglo XXI. En el caso del escenario A2, donde los impactos negativos se concentran a finales de siglo a menor tasa de descuento, el valor presente del impacto es mayor, al igual que es mayor al considerar un horizonte más lejano. Lo contrario ocurre con el escenario B2, donde se puede ver que los mayores efectos negativos se dan en el período intermedio y en el caso del horizonte lejano los mayores efectos negativos se presentan con una tasa de descuento más alta.

Es importante destacar que este impacto económico deber ser visto como el rango inferior de impactos, por las razones antes expuestas: falta de sectores analizados y evaluación realizada para condiciones medias, no extremas.

Por otra parte, con respecto a las emisiones de GEI, se puede prever que para romper la relación existente entre el desarrollo del país y estas emisiones es necesario incurrir en medidas o programas de mitigación. En esta oportunidad no ha sido posible establecer los costos asociados a estas medidas. Sin embargo, los escenarios de mitigación considerados lograrían una reducción potencial de aproximadamente el 30% para los próximos 20 años con respecto a la línea base.

CUADRO 7.1**CHILE: SÍNTESIS DE LOS COSTOS ECONÓMICOS ACUMULADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO (NO INCLUYE TODOS LOS SECTORES PRODUCTIVOS)**

Escenario horizonte	<i>(Valores absolutos en millones de dólares)</i>							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Año 2050	22 005	15 717	31 745	21 580	47 802	30 569	66 950	40 592
Año 2100	30 044	14 110	57 689	15 787	139 950	7 913	321 522	-25 914

Escenario horizonte	<i>(En porcentajes del valor presente del PIB)</i>							
	Tasa de descuento 6%		Tasa de descuento 4%		Tasa de descuento 2%		Tasa de descuento 0,5%	
	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Año 2050	0,66	0,48	0,69	0,47	0,70	0,45	0,71	0,43
Año 2100	0,73	0,34	0,82	0,23	0,96	0,06	1,09	-0,09

8. Estrategias de cambio climático en el país

8.1 Política nacional de cambio climático

Si bien Chile es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y del Protocolo de Kyoto, en su calidad de país en desarrollo, no posee compromisos de reducción de emisiones de GEI frente a estos acuerdos internacionales. No obstante, en 1996 estableció, en el contexto de la CMNUCC, el Comité Nacional Asesor sobre Cambio Global, encargado de preparar la primera Comunicación nacional sobre el cambio climático. Entre otras cosas, en esta comunicación se incluía un inventario nacional de las emisiones de gases de efecto invernadero y se identificaban las opciones de mitigación, así como la vulnerabilidad y las medidas de adaptación (OCDE-CEPAL, 2005).

El Gobierno de Chile definió en 2006 su Estrategia Nacional de Cambio Climático, que plantea tratar la temática sobre la base de los siguientes ejes:

- Adaptación a los efectos del cambio climático.
- Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Creación y fomento de capacidades en cambio climático.

En 2008 se aprobó el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PACC), concebido como un instrumento articulador de un conjunto de lineamientos de orden político que llevarán a cabo los organismos públicos competentes en materia de cambio climático y de sus efectos adversos. Este plan también pretende ser una herramienta orientadora para el sector productivo y académico, así como para los organismos no gubernamentales, puesto que indica las materias que el Estado considera que deben ser asumidas por el conjunto de la sociedad para enfrentar los efectos del cambio climático.

El PACC fue diseñado para responder a los ejes y objetivos de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, mediante un proceso en el que participaron tanto las instituciones vinculadas al Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente como otras pertenecientes al mundo académico y de investigación nacional.

En el marco del PACC, se constituyó en 2008 el Consejo de Cambio Climático y Agricultura, en el que participan diversos actores y expertos relacionados con el sector silvoagropecuario. Este

Consejo es la primera instancia de este tipo a nivel sectorial en el país y responde a la necesidad de velar por la adaptación del sector silvoagropecuario a los efectos del cambio climático.

Finalmente, en junio de 2009 se creó el Comité Interministerial de Cambio Climático, conformado por los Ministros de Medio Ambiente, Relaciones Exteriores, Hacienda, Energía y Agricultura y la Secretaria General de la Presidencia. Este Comité tiene como objetivo principal resolver los asuntos vinculados al proceso de negociación internacional sobre cambio climático. La Secretaría Ejecutiva le corresponde al Director Ejecutivo de la CONAMA.

8.2 Iniciativas locales

Además de los estudios relativos a los efectos del cambio climático y de las medidas de mitigación, es importante mencionar una serie de iniciativas locales que se están llevando a cabo para ayudar a la mitigación de las emisiones de GEI y plantear medidas de adaptación a los efectos del cambio climático.

Desde el punto de vista de la mitigación, resultan especialmente relevantes las acciones y los programas que lleva adelante el Programa País de Eficiencia Energética y la reciente ley de energías renovables no convencionales. Las repercusiones de estas medidas en la reducción de las emisiones de GEI ya han sido evaluadas en capítulos anteriores.

9. Conclusiones y recomendaciones de política

Chile posee un número importante de características que lo convierten en un país vulnerable a los efectos del cambio climático. Gran parte del territorio presenta niveles muy bajos de precipitación asociados a climas desérticos y semiáridos. Muchas de las cuencas hidrológicas, y de los usuarios que allí viven, dependen de un régimen hidrológico basado en el derretimiento de nieves acumuladas en los meses de invierno. Las principales actividades económicas del país dependen directa o indirectamente de las condiciones climáticas y si bien existe una larga costa que provee recursos, en ella se ha construido una infraestructura que también sufre los impactos e inclemencias del clima. Finalmente, existen varias regiones con un alto nivel de endemismo que están incluidas dentro de las zonas críticas (*hotspots*) de biodiversidad del planeta.

No debería ser una sorpresa, entonces, que los resultados entregados en este informe presenten una amplia evidencia de los potenciales efectos del cambio climático en Chile. De acuerdo con las proyecciones de modelos de clima global, el futuro en escenarios de cambio climático significa para Chile, en términos generales, un aumento de temperatura en todo el país que se hace más progresivo a medida que avanza el siglo XXI (en torno a 4°C a finales de siglo) y nos alejamos del mar. Por otra parte, los mismos modelos proyectan importantes reducciones en los niveles de precipitación (en torno al 30% a finales de siglo) para la zona central de Chile (entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos). En el extremo norte del país (regiones de Arica a Atacama) la situación es más ambigua y no hay mucha claridad en cuanto a la tendencia esperada. En el extremo austral (Región de Magallanes), los modelos indican un aumento progresivo de los niveles de precipitación. Finalmente, la Región de Aysén corresponde a una zona de transición, donde no se esperan grandes variaciones con respecto a la situación actual.

Estos cambios en las condiciones climáticas pueden traer aparejada una serie de problemas económicos, sociales y ambientales. Muchos de estos problemas estarían asociados a cambios en la disponibilidad de recursos hídricos y en los efectos que estos tendrían en la generación de hidroelectricidad, la provisión de agua potable y la disponibilidad de agua para riego y otros sectores productivos, como la industria y la minería.

En el caso de los efectos en la generación eléctrica, los escenarios evaluados indican pérdidas en torno al 10% y el 20% con respecto a la situación base. Esto tendría un costo económico importante (cercano a los 100 millones de dólares al año) e incidiría en el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (alrededor de 3 millones de toneladas de CO₂ equivalente). Todo esto es producto de un incremento de la generación eléctrica de tipo térmica.

Con respecto a la provisión de agua potable, los resultados indican que, en el caso de la Región Metropolitana, existirían cambios hidrológicos en la principal fuente de abastecimiento de la ciudad (Río Maipo), por lo que, de acuerdo con las proyecciones de demanda de agua para la población, en el futuro se generaría un déficit en la provisión de agua. Un componente del impacto que enfrentarían las empresas sanitarias estaría asociado a la compra de derechos para asegurar la oferta de agua. Producto de esta situación, se puede prever que tales empresas tengan que incurrir en costos que se traspasarían a los usuarios en la ciudad en forma de aumento de tarifas. Una evaluación de este costo implicaría un incremento en la tarifa de agua para la población en torno a los dos dólares al año. Es importante destacar que este solo sería uno de los componentes de los efectos esperados y que existen también otros costos asociados a los cambios que sea necesario realizar en la infraestructura para asegurar un adecuado servicio.

De la evaluación realizada en el sector minero se puede concluir que, para un horizonte de tiempo que abarque los próximos 30 años, las condiciones climatológicas indican que todas las cuencas donde se ubican las minas en la actualidad verán reducida su disponibilidad hidrológica producto de un aumento de temperatura (y, por ende, de evaporación) y de un descenso de la precipitación. No está claro cuáles serían las acciones que tendrían que llevar a cabo las diferentes minas a raíz de estos cambios, si se considera que la gran mayoría se encuentra en este momento en una situación sumamente compleja en cuanto a disponibilidad de agua. La medida de última instancia a la que podrían recurrir las minas sería la desalación de agua de mar. En caso de que esta fuera la medida considerada, su adopción implicaría importantes aumentos en los costos de producción, de entre 6 c/lb y 20 c/lb, y un incremento en la emisión de GEI producto del consumo de electricidad asociado al proceso de desalación.

Siguiendo con el análisis de cambios en recursos hídricos, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se proyecta que existirá una baja en la disponibilidad de agua para riego en las comunas ubicadas al norte del Río Maipo. Esto, sumado a cambios proyectados en la productividad de diferentes tipos de especies, tiene importantes efectos potenciales en el sector silvoagropecuario. Estos cambios en la productividad inciden en cambios potenciales del uso del suelo que apuntan, en términos generales, a un aumento de la superficie plantada con frutales y plantaciones forestales en las regiones del sur del país. De manera complementaria, se desprenden aumentos en la superficie de otros tipos de cultivos en las comunas del norte del país. Todos estos cambios han sido incluidos en una evaluación económica de impactos para el sector que consideran un grado de adaptación inherente a la reacción esperable del sector en virtud de los cambios en productividad proyectados. La evaluación económica pone de manifiesto que ciertos tipos de especies y ciertas regiones se verían potencialmente beneficiadas por el cambio climático. En términos agregados, sin embargo, los efectos serían negativos y las pérdidas en las utilidades netas se situarían entre 100 y 300 millones de dólares al año.

En todos los sectores descritos, con excepción del sector minero, ha sido posible llevar a cabo una evaluación económica de impactos. Estos impactos han sido proyectados de acuerdo con la situación económica que se espera para el futuro (mediante el empleo de proyecciones del PIB) y después agregados en su valor presente neto. En términos absolutos, la agregación del valor presente de los impactos indica que asociado al escenario A2 existiría un costo que fluctúa entre los 22.000 millones de dólares y los 320.000 millones de dólares, dependiendo de la tasa de descuento usada y del horizonte considerado. Con respecto al escenario B2, la situación es más ambigua ya que los resultados indican un rango que fluctúa entre un beneficio neto de 25.000 millones de dólares a un costo de 40.000 millones de dólares, dependiendo de la tasa de descuento usada y del horizonte considerado. A modo de referencia, resulta importante considerar que el PIB del país para 2008 fue de aproximadamente 120.000 millones de dólares. Estos costos indican que Chile podría llegar a perder un 1,1% anualmente durante todo el período de análisis, es decir hasta 2100 para

el escenario A2. En el caso del escenario B2 la situación es más ambigua y se observa desde una pérdida anual del 0,5% para la proyección hasta 2050 hasta una ganancia anual del 0,09% para la proyección hasta 2100 y una tasa de descuento del 0,5%.

Existe una serie de sectores que posiblemente sufrirán las consecuencias del cambio climático, pero en los que no se ha podido llevar a cabo una evaluación económica de impactos. Las dos razones que impiden concretar esta evaluación son: 1) la existencia de sectores donde el conocimiento científico permite relacionar el cambio climático con variables físicas, pero no se cuenta con las herramientas para completar el paso y llevar a cabo la evaluación económica (un ejemplo es el sector minero), y 2) la inexistencia de la información científica básica que permita relacionar el cambio climático con las variables biofísicas de relevancia (un ejemplo de este segundo grupo es el sector pesquero).

Los sectores que no han sido incluidos en la evaluación económica, pero que se espera que deban soportar los efectos asociados al cambio climático, son:

- Biodiversidad y servicios ecosistémicos
- Salud
- Recursos pesqueros y acuícolas
- Alza del nivel del mar e impactos costeros
- Eventos extremos
- Impactos en infraestructura
- Cambios en demanda de energía

Por consiguiente, los valores entregados con respecto a los impactos económicos tienen que ser considerados como valores mínimos de referencia, dado que no se incluyen los impactos económicos asociados a los sectores no evaluados recién mencionados.

La evidencia de estos impactos potenciales del cambio climático en Chile debería traducirse en el diseño de políticas públicas orientadas a la adaptación, o sea la disminución de los impactos esperados. Estas políticas públicas deberían definirse sobre la base de los siguientes criterios:

- Las políticas de adaptación deberían estar orientadas en una primera etapa a los sectores de los que se dispone de un mayor nivel de información con respecto a los efectos del cambio climático (en este caso, los sectores silvoagropecuario y de recursos hídricos).
- Se debe instrumentar un marco de adaptación que permita priorizar medidas en virtud de la incertidumbre asociada a escenarios de cambio climático. En este sentido, las primeras políticas de adaptación tienen que incorporar medidas doblemente beneficiosas (*win-win*) o medidas “útiles en todo caso”.
- El proceso de adaptación debe reconocer que los efectos tienen importantes diferencias espaciales y sectoriales. En este sentido, es importante detectar, como parte de este proceso, quién o qué es más vulnerable a los efectos esperados, ya que eso es lo que hoy tiene una menor capacidad de adaptación.
- El marco de adaptación debería apoyarse en una continua mejora de los niveles de información que se puedan tener de los impactos en los sectores ya analizados y otros que todavía falta analizar. En este sentido, no hay mejor manera de prepararse para los efectos del futuro que tener un buen entendimiento de los efectos del presente.

Otra manera de ayudar a la adaptación de los efectos del cambio climático es apostar como país a reducir a las emisiones de GEI. Los resultados presentados en este trabajo muestran

que los efectos del cambio climático son superiores para los escenarios con un mayor nivel de emisión de GEI (escenario A2 frente a escenario B2). Chile, al ser un país pequeño en el contexto global, no tiene un aporte importante en las emisiones de GEI. Sin embargo, el continuo crecimiento histórico y futuro del país augura un aporte relativo cada vez mayor en términos de emisiones por habitante. De acuerdo con las proyecciones de emisiones tomadas de distintos estudios y sobre la base de proyecciones realizadas por la Comisión Nacional de Energía, se presentan en este documento distintos escenarios de emisión de GEI para el futuro. En todos estos escenarios se aprecia que el principal sector emisor del país corresponde al sector energético, con aproximadamente un 85% de las emisiones totales. Lo siguen los sectores agrícola, industrial y de uso de solventes. Por su parte, el sector forestal y de cambio del uso del suelo ha contribuido históricamente como sumidero neto de CO₂.

Se plantea en este documento una serie de medidas genéricas que apuntan a lograr reducciones (mitigación) en la emisión de GEI. Estas medidas están enfocadas exclusivamente al sector energético y apuntan a reducir la demanda de energía (o electricidad) o a descarbonizar la manera en que se genera la energía (o electricidad). Algunas de estas medidas, las llamadas acciones tempranas, ya han sido incorporadas como parte de la línea base de la situación futura, lográndose una reducción en torno al 20% del crecimiento de las emisiones futuras. Un ejemplo de estas medidas corresponde a la ley de energías renovables no convencionales, que implica la obligación de que las empresas generadoras de electricidad incorporen a sus matrices la generación a través de energías renovables no convencionales. Otro ejemplo corresponde a la serie de medidas y programas que ha propiciado el Programa País de Eficiencia Energética y que ha tenido como resultado una reducción importante de la demanda de electricidad del país.

Sin embargo, es necesario que se diseñen políticas públicas que aseguren que este tipo de impactos de reducción de emisiones siga creciendo en el futuro para así lograr un desacople entre en el nivel de desarrollo del país y sus emisiones de GEI. Los escenarios de mitigación considerados en este trabajo lograrían una reducción potencial de aproximadamente el 30% para los próximos 20 años con respecto a la línea base.

En Chile no se ha realizado una evaluación de los costos económicos asociados a estos escenarios de mitigación. Si se recurre al análisis de la información proveniente de estudios realizados en otros países, o a nivel mundial, es posible prever que estos costos sean importantes, pero probablemente menores que los costos económicos asociados a los efectos del cambio climático. Es absolutamente imperativo llevar a cabo esta evaluación considerando las limitaciones y oportunidades que Chile enfrenta en esta materia.

Asimismo, es interesante reconocer que las medidas de mitigación de las emisiones de GEI tienen cobeneficios ambientales asociados, producto de la reducción de contaminantes locales. Una evaluación de los cobeneficios ambientales, en el caso de que la medida de mitigación redujera la necesidad de generar electricidad a carbón, muestra valores en torno a 26 dólares y 12 dólares por tCO₂e para el caso de una central existente o planificada, respectivamente.

Chile tiene por delante un gran desafío en materia de cambio climático. Por una parte, el desarrollo del país contribuye a las causas del problema a través de la emisión de gases de efecto invernadero que se prevé que seguirá creciendo en el futuro. Por lo tanto, se deben crear las políticas públicas tendientes a reducir estas emisiones. Por otra parte, el cambio climático tiene efectos económicos, sociales y ambientales que ponen en riesgo el desarrollo del país, en especial el de las personas más vulnerables, por lo que se deben crear programas de adaptación para paliar los efectos negativos. El desafío es lograr romper este círculo vicioso que repercute en el desarrollo sostenible de las futuras generaciones.

Bibliografía

- AGRIMED (Centro de Agricultura y Medio Ambiente) (2008a), “Impactos en los recursos edáficos de Chile frente a cambios climáticos”, *Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Segunda comunicación nacional de Chile*, Santiago de Chile.
- _____ (2008b), “Impactos productivos en el sector silvoagropecuario de Chile frente a escenarios de cambio climático”, *Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Segunda comunicación nacional de Chile*, Santiago de Chile.
- Banco Central de Chile (2009), “Informe de política monetaria de mayo de 2009”, Santiago de Chile.
- Bell, M. L., M. S. O’Neill, et al. (2008), “Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico” *International Journal of Epidemiology*, vol. 37, N° 4, 796-804.
- BID/CEPAL (Banco Interamericano de Desarrollo/Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2007), *Información para la gestión de riesgo de desastres. Estudio de caso de cinco países: Chile* (LC/MEX/L.834), México, D.F., sede subregional de la CEPAL en México.
- Bitrán, E. y P. Rivera (s/f), “Planned Adaptation to Climate Change: Results From the Chilean Case”, Washington, D.C., Banco Mundial, inédito.
- Broome, J.C., Marois, J.J., Latorre, B.A., and J.C. Avilés (1995), “Development of an infection model for botrytis bunch rot of grapes based on wetness duration and temperature”, *Phytopathology*, N° 85, 97-102.
- Bulit, J. y B. Dubos (1988), “Botrytis bunch rot and blight”, *Compendium of Grape Diseases*, R.C. Pearson y A. Goheen (eds.), St. Paul, MN, The American Phytopathological Society.
- Cifuentes, L.A. y F.J. Meza (2008), “Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile”, *Temas de la agenda pública*, año 3, N° 19.
- CNE (Comisión Nacional de Energía) (2009), “Política energética: nuevos lineamientos – Transformando la crisis energética en oportunidad”, Santiago de Chile.
- DICTUC. (2009), *Antecedentes para el análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de la Norma de calidad primaria para PM2.5 (AGIES)*. Santiago de Chile.
- DGA (Dirección General de Aguas) (1987), *Balance hídrico de Chile*, Santiago de Chile, Ministerio de Obras Públicas.

- DGF/CONAMA (Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile/Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2007), *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*, Santiago de Chile [en línea] http://www.conama.cl/portal/1301/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf.
- Escobar, F., Pozo, V., Salazar, A. y Oyarzo, M. (1995), “Balance de masa en el glaciar Echaurren Norte, 1975 a 1992”, Santiago de Chile, Dirección General de Aguas, inédito.
- Falvey, M., y R. Garreaud (2009), “Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006)”, *Journal of Geophysical Research*, N° 114.
- Galindo, L. M. (2009). La economía del cambio climático en México. Síntesis
- GAMMA (2007), *Apoyo a la implementación de Norma de emisión para centrales termoeléctricas*, Santiago de Chile.
- Garnaut, R. (2008). The Garnaut climate change review
- Gilbert, H.P., Meza, F., Cabello, H. y Aurtenechea M. (2007), “Estimación del carbono capturado en las plantaciones de pino radiata y eucaliptos relacionadas con el DL-701 de 1974”, Santiago de Chile, Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) (2004), “Actualización del inventario de gases efecto invernadero (GEI), para el caso de Chile, en los sectores agrícolas, uso y cambio de uso de la tierra, forestal y de residuos”, Santiago de Chile.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007), *Cambio climático 2007. Cuarto informe de evaluación*, Ginebra.
- ____ (2006), “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” [en línea] <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Meza, F. (2004), “La viticultura en función del clima y su cambio”, *Tópicos de Actualización en Viticultura y Enología*, Colección de Extensión, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Miller, N. L., K. Hayhoe, J. Jin, y M. Auffhammer (2008), “Climate, extreme heat, and electricity demand in California”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 47, N° 6, 1834–1844.
- OCDE/CEPAL (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2005), *Evaluación del desempeño ambiental: Chile* (LC/L.2305), Santiago de Chile.
- POCH Ambiental (2009), “Proyección de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energía”, Santiago de Chile, Comisión Nacional de Energía (CNE).
- ____ (2008), “Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para Chile desde el año 1984 al 2006”, Proyecto segunda Comunicación nacional.
- PROGEA (Programa de Gestión y Economía Ambiental) (2008), *Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en Chile 2007-2030 y opciones de mitigación*, Santiago de Chile, Universidad de Chile.
- Quintana, J. y P. Aceituno (2006), “Trends and interdecadal variability of rainfall in Chile”, *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguaçu, Brasil, 24-28 de abril, INPE.
- Stern, Nicholas (2007), *El informe Stern: La verdad del cambio climático*, Barcelona, Ediciones Paidós.
- Vicuña, S., J. A. Dracup, J. R. Lund, L. L. Dale y E. P. Maurer (2009), “Basin Scale Water Systems Operations with Uncertain Future Climate Conditions: Methodology and Case Studies”, *Water Resources Research*, en prensa [aceptado: 3 de noviembre de 2009].