Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

Gobierno de Chile

INFORME TEMÁTICO

Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad:

Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile

Comité Científico Asesor de Cambio Climático

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

Gobierno de Chile

Comité Científico Asesor de Cambio Climático

ONU programa para el medio ambiente

Este proyecto fue apoyado y financiado por el NDC Partnership a través de su fondo Partnership Action Fund (PAF), e implementado con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

NDC PARTNERSHIP

INFORME TEMÁTICO

Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile

ELABORADO POR:
Comité Científico Asesor de Cambio Climático

MIEMBROS DEL COMITÉ (Editores Científicos):
- Amaya Álvez, Universidad de Concepción
- Waldo Bustamante, Pontificia Universidad Católica de Chile
- Lohengrin Cavieres, Universidad de Concepción (Coordinador)
- Raúl R. Cordero, Universidad de Santiago
- Sandra Cortés, Pontificia Universidad Católica de Chile
- Camila Fernández, Universidad de Concepción (Coordinadora)
- Alex Godoy-Faúndez, Universidad del Desarrollo
- Elizabeth Lam, Universidad Católica del Norte
- Camila Muñoz, Instituto de Investigación Agropecuarias
- Jorge Pérez-Quezada, Universidad de Chile (Coordinador)
- Rodolfo Sapiains, Universidad de Chile

SECRETARÍA TÉCNICA Y COORDINACIÓN:
Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
- Soledad Ugarte, Jefa Departamento de Políticas y Articulación
- Carlos Morales, Secretario Técnico - Comité Científico Asesor de Cambio Climático
- María Lorena González, Experta Temática - Secretaria Técnica Comité Científico Asesor de Cambio Climático
- François Simon, Coordinación Informes Temáticos - Secretaria Técnica Comité Científico Asesor de Cambio Climático
- Catalina Valenzuela, Apoyo Metodológico - Secretaria Técnica Comité Científico Asesor de Cambio Climático
- Alberto Alaniz, Apoyo Científico - Secretaria Técnica Comité Científico Asesor de Cambio Climático

CITA SUGERIDA PARA EL INFORME COMPLETO: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (2026). Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile..

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.20072466

INFORME TEMÁTICO

Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile

LEYENDA DE CAPÍTULOS E INSTITUCIONES

Los números entre corchetes [ ] indican los capítulos en los que participó cada persona, y los números en superíndice refieren a su institución de afiliación.

- **[1]** Introducción: Hacia una visión integrada del Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad (OCB)
- **[2]** Dinámicas del Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad
- **[3]** Vulnerabilidades y Riesgos Socioecológicos
- **[4]** Soluciones Basadas en la Naturaleza y Mitigación
- **[5]** Gobernanza Integrada y Justicia Socioambiental
- **[6]** Hoja de Ruta para la Adaptación Transformadora
- **[7]** Conclusiones y Recomendaciones

AUTORES

Autores principales responsables de la redacción y síntesis de las secciones, listados por orden: (primer nombre)**:**
Aníbal Pauchard **[2]** [1,2], Bárbara Jerez Henríquez **[5]** [3,4,5,6], Camila Fernández **[1]** [7,8], Carlos Olavarría **[7]** [9], Carolina Martínez **[3]** [23], Cristián E. Hernández **[3]** [11], Cristian Martinez-Villalobos **[3]** [12,13], Diego Narváez **[6]** [7,14], Eduardo Hernández-Miranda **[5]** [14,15,16], Enzo Acuña **[2,6]** [18], Fabrice Lambert **[5]** [10,19,20], Humberto E. González **[2]** [21,22], Iván Pérez **[6]** [24], Jaime Letelier **[6]** [25], Jeanne W. Simon **[7]** [15], Jessica Fuentes **[5]** [15,27], Mabel Alarcón Rodríguez **[3]** [28], Marcelo H. Gutiérrez **[2]** [7,14], María Lorena González **[1]** [29], Mariela Yevenes **[4]** [30], Montserrat Aldunate **[2]** [31,32], Nelson Lagos **[5]** [33], Patricio Pliscoff **[2]** [34,2], Paula S.M. Celis-Plá **[4]** [35,36], Ricardo Norambuena-Cleveland **[5]** [7], Sonia Yáñez **[3]** [11,17], Verónica Molina **[2]** [35,7,36].

COLABORADORES

Académicos, estudiantes o profesionales especializados que contribuyeron, listados por orden alfabético (primer nombre)**:**
Alejandro Lara San Martín **[3]** [37], Andrea Piñones **[2]** [22,21,7,40], Andrés Trabal Fernández **[4]** [35,41], Claudia Ávila Soto **[5]** [5], Daniela Flores **[2]** [37], Eduardo Fuentes-Lillo **[2]** [42], Ernesto Díaz-Cabrera **[5]** [17], Fernanda Rodríguez-Rojas **[2]** [35,36], Janny Figueroa Ayala **[5]** [6,5], Javiera Rodríguez Olguín **[5]** [5], Joaquín Cárcamo **[3]** [14], José Garcés-Vargas **[2]** [21,22], Juan Munizaga **[3]** [38], Leandra Loyola **[3]** [12], M. Cristina Krautz **[5]** [17], Matías Valenzuela **[3]** [12], Nicolás Espinoza **[3]** [14], Pablo López **[3]** [39], Pamela Fierro González **[2]** [31], Ricardo Giesecke **[2]** [21,22], Rodrigo Veas **[5]** [17], Valentina Manríquez **[5]** [7], Violeta Montero Barriga **[3]** [26]

1 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción;
2 Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB);
3 Centro de Estudios del Desarrollo Regional y Políticas Públicas (CEDER), Universidad de Los Lagos;
4 Centro Nacional de Investigación sobre Ríos, Invasiones y Ecosistemas (IRIS) CIN250047;
5 FONDECYT 11251266, Universidad de Los Lagos;
6 ANILLO ATE230072;
7 Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción;
8 CNRS Laboratorio de Oceanografía Microbiana, Observatorio Oceanológico de Banyuls sur Mer, Francia;
9 Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA);
10 Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile;
11 Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad San Sebastián;
12 Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez;
13 Fundación Data Observatory;
14 Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción;
15 Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Universidad de Concepción;
16 Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Universidad de Concepción;
17 Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Talcahuano;
18 Departamento de Biología Marina, Universidad Católica del Norte;
19 Center for Climate and Resilience Research (CR2);
20 Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile;
21 Centro FONDAP IDEAL 15150003;
22 Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile;
23 Centro UC Observatorio de la Costa;
24 Centro i-mar, Universidad de Los Lagos;
25 Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP);
26 Centro de Estudios CREASUR, Universidad de Concepción;
27 Departamento de Derecho Público, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso;
28 Departamento de Urbanismo, Universidad de Concepción;
29 Instituto Océanos, Universidad de Concepción;
30 Facultad de Ciencias Ambientales/Centro EULA, Universidad de Concepción;
31 Núcleo Milenio para el Estudio de la Desoxigenación en el Océano Pacífico Sur Oriental (DEOXS);
32 Universidad Católica de la Santísima Concepción;
33 Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC), Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás;
34 Centro de Estudios Territoriales, Universidad de los Andes;
35 HUB Ambiental, Universidad de Playa Ancha;
36 Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha;
37 Departamento de Arquitectura, Universidad de Concepción;
38 Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío;
39 Faculty of Engineering, University of Bristol, Reino Unido.
40 Instituto Milenio BASE;
41 Facultad de Ingeniería, Negocios y Ciencias Agroambientales, Universidad de Viña del Mar;
42 Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

Índice

Glosario de acrónimos 9

Prólogo editorial 11

Metodología de trabajo informes temáticos 13

Diálogos científicos por la acción climática 18

Resumen 20

1. Introducción: Hacia una visión integrada del Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad (OCB) 23

2. Dinámicas del nexo Océanos-Clima-Biodiversidad 26

2.1. Procesos físicos y biogeoquímicos oceánicos críticos 26

2.2. Interacciones y retroalimentaciones entre clima, biodiversidad y servicios ecosistémicos 30

2.3. Escenarios climáticos proyectados y riesgos múltiples 36

2.4. Presiones antropogénicas: contaminación, sobreexplotación de recursos y efectos en sistemas socioecológicos costeros y marinos 39

3. Vulnerabilidades y riesgos socioecológicos 44

3.1. Impactos en ecosistemas marinos, costeros y terrestres 44

3.2. Vulnerabilidad socio cultural y cambio climático en comunidades costeras 50

3.3. Riesgos compuestos y tipping points 56

4. Soluciones basadas en la naturaleza y mitigación 60

4.1. Secuestro de carbono en ecosistemas clave (humedales, bosques, praderas marinas, plancton) 60

4.2. Potencial de carbono azul y verde: conservación, mitigación y adaptación 64

5. Gobernanza integrada y justicia socioambiental 68

5.1. Marcos legales e institucionales: desafíos y conflictos de uso del sistema marino 68

5.2. Rol de comunidades locales y pueblos originarios en la gestión adaptativa 73

5.3. Financiamiento y condiciones habilitantes (investigación, monitoreo, transición productiva) 76

5.4 Iniciativas exitosas desde Chile (AMERBs, monitoreo comunitario, restauración) 80

6. Hoja de ruta para la adaptación transformadora 84

6.1. Sistema integrado de observación y priorización de acciones 84

6.2. Transición productiva sostenible (pesca, acuicultura, energía, minería submarina) 89

7. Conclusiones y recomendaciones 93

7.1. Recomendaciones para gobernanza multinivel y lineamientos para actualización de políticas intersectorial . 93

7.2. Rol de Chile en iniciativas globales (océanos, biodiversidad) 96

Comentarios finales 99

Agradecimientos 101

Referencias 103

Anexos transversales 115

Glosario de Acrónimos

Acrónimo	Descripción
ADOC	Carbono Orgánico Disuelto Antropogénico (Anthropogenic Dissolved Organic Carbon)
AIFM	Autoridad Internacional de los Fondos Marinos
AMERB	Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos
AR6	Sexto Informe de Evaluación del IPCC
ARClim	Atlas de Riesgos Climáticos
BBNJ	Biodiversity Beyond National Jurisdiction (Tratado Global de los Océanos)
CDOM	Centro de Datos Oceanográficos y Meteorológicos
CDR	Remoción de Dióxido de Carbono (Carbon Dioxide Removal)
CIGIDEN	Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (Chile)
CIO	Centro de Instrumentación Oceanográfica
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CMS	Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres
CO_2	Dióxido de Carbono
CONA	Comité Oceanográfico Nacional
CONVEMAR	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar
COP	Conferencia de las Partes (ONU sobre Cambio Climático o Biodiversidad)
COS	Carbono Orgánico del Suelo
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
ECMPO	Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios
ETICC	Equipo Técnico Interinstitucional de Cambio Climático
FAN	Floraciones Algales Nocivas
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
FPA	Fondo de Protección Ambiental
GOOS	Sistema de Observación del Océano Global (Global Ocean Observing System)

GtCO2e	Gigatoneladas de CO2 equivalente
HAPs	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
ILK	Conocimiento Indígena y Local (Indigenous and Local Knowledge)
IMO	Instituto Milenio de Oceanografía
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISA	Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (International Seabed Authority)
LMCC	Ley Marco de Cambio Climático
MHWs	Olas de Calor Marinas (Marine Heatwaves)
MRV	Medición, Reporte y Verificación,
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Nationally Determined Contributions)
ODP	Oscilación Decadal del Pacífico
PACCC	Plan de Acción Comunal de Cambio Climático
PARCC	Plan de Acción Regional de Cambio Climático
PEM	Planificación Espacial Marina
Pg C	Petagramos de Carbono
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PSAPPN	Producción Primaria Neta
PROT	Planes Regionales de Ordenamiento Territorial
RCP	Representative Concentration Pathway (Trayectoria de Concentración Representativa)
SA	Surgerencia Artificial
SBAP	Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas
SbN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
SIOOC	Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno
ZMO	Zonas de Mínimo Oxígeno

Prólogo editorial

Al igual que el resto del planeta, Chile se encuentra en una encrucijada histórica en la que su identidad oceánica y su particular diversidad biológica se enfrentan a la triple crisis climática. Su extenso litoral, junto a una geografía abrupta y variada que abarca desiertos, montañas, bosques y valles, genera gradientes bioclimáticos que atraviesan el territorio. Esto constituye un laboratorio natural de relevancia global, pero también un frente de alta vulnerabilidad frente al calentamiento global, la acidificación, la desoxigenación y los eventos climáticos extremos. Asimismo, el océano costero chileno abarca regímenes altamente productivos y sustenta hasta el 10% de la pesca mundial, a la vez que coincide con zonas desoxigenadas, bahías altamente intervenidas y fiordos. En este contexto, avanzar hacia una comprensión integrada del nexo entre océanos, clima y biodiversidad (OCB) deja de ser una opción académica para convertirse en una necesidad estratégica para la sociedad chilena.

Este informe temático Nexo OCB surge precisamente de ese imperativo: articular el mejor conocimiento disponible sobre las dinámicas físicas y biogeoquímicas del océano, los cambios en la biodiversidad terrestre, costera y marina, los servicios ecosistémicos, y las implicancias sociales, económicas y culturales de estos procesos. Con la contribución de 27 autores principales y 23 colaboradores que representan diversas disciplinas, instituciones y territorios, el documento ofrece una mirada sistémica que trasciende los enfoques sectoriales tradicionales, integrando evidencia sobre riesgos compuestos, puntos de quiebre ecológicos, vulnerabilidades socioecológicas y oportunidades para una adaptación transformadora.

El enfoque que orienta este informe permite comprender cómo las presiones climáticas se entrelazan con la contaminación, la sobreexplotación, el cambio de uso de suelo y las desigualdades sociales, afectando de manera diferenciada a comunidades costeras, pueblos originarios y sectores productivos clave como la pesca, la acuicultura, la agricultura y el turismo. Al mismo tiempo, pone de relieve el potencial de soluciones basadas en la naturaleza, el carbono azul y verde, y la gobernanza multinivel para alinear los esfuerzos de mitigación y adaptación con la justicia socioambiental. De este modo, el informe se posiciona como una herramienta para fortalecer la coherencia entre instrumentos de política pública, desde la Ley Marco de Cambio Climático hasta los planes sectoriales, las estrategias de biodiversidad y los compromisos internacionales del país.

Este trabajo colectivo no solo sintetiza décadas de investigación científica nacional e internacional, sino que también dialoga con el conocimiento indígena y local, y con las experiencias de gestión territorial construidas desde las comunidades y los territorios. Junto con abordar aspectos técnicos, cada capítulo incluye recomendaciones, por lo que el resultado es un insumo robusto para la toma de decisiones. En este sentido, reconoce la interdependencia entre océano, clima y biodiversidad como base para diseñar políticas públicas, marcos regulatorios y estrategias de desarrollo coherentes con los límites ecológicos y los derechos de las personas.

El resultado es un cambio de paradigma que busca reemplazar la comprensión fragmentada de la crisis climática por un entendimiento y una acción integrados, informados por la ciencia y orientados por principios de equidad y sostenibilidad. Esperamos que las páginas que siguen contribuyan a consolidar una visión compartida del Nexo OCB y sirvan de guía para los actores públicos, privados y de la sociedad civil que hoy tienen en sus manos la responsabilidad de impulsar una adaptación verdaderamente transformadora en Chile.

Comité Científico Asesor de Cambio Climático (C4)

Santiago, 2026

Metodología de trabajo informes temáticos

El presente informe es el resultado de un proceso colaborativo, riguroso y sistemático impulsado por el Comité Científico de Cambio Climático (C4) bajo la coordinación de su Secretaría Técnica, la cual es gestionada desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. La elaboración de este documento involucró la participación de una amplia red de especialistas, científicos/as, investigadores/as y académicos/as, quienes identificaron y analizaron el conocimiento actualizado en torno a temáticas de cambio climático, bajo una visión integradora y multidisciplinaria. Se trabajó bajo un protocolo de revisión de evidencia inspirado en las mejores prácticas internacionales y adaptado a la realidad local y los recursos disponibles, para asegurar la calidad científica, su relevancia en la toma de decisiones y en la actualización de instrumentos como la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) y los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación.

1. Estructura organizacional y roles

El modelo de trabajo operó bajo cuatro niveles de responsabilidad coordinados para garantizar la coherencia técnica y estratégica del informe:

- **Comité Científico Asesor de Cambio Climático (C4):** Organismo autónomo de carácter científico, mandatado por la Ley Marco de Cambio Climático, que tiene el rol de brindar asesoramiento al Ministerio del Medio Ambiente en los aspectos científicos que se requieran, entre otros, para la elaboración, diseño, implementación y actualización de los instrumentos de gestión del cambio climático establecidos en la Ley Marco de Cambio Climático[1]. En la elaboración de este informe, actuó como el órgano de supervisión estratégica y validación final. Sus integrantes asumieron el rol de Autores Principales y supervisaron la nominación de autores en base a las áreas de investigación de cada uno de ellos, tomando como guía principal la selección previa de temas. Asimismo, validaron la calidad científica de los aportes, identificaron brechas de evidencia y realizaron una labor editorial para alinear los contenidos con los instrumentos de política pública vigentes.
- **Secretaría Técnica del C4:** Entidad dependiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación que tuvo a su cargo la coordinación general del proceso, la provisión de recursos logísticos, el aseguramiento de calidad y la articulación institucional. Además, lideró la sistematización de los insumos provenientes de los talleres regionales y gestionó el diseño final.
- **Expertos/as Temáticos/as:** Cada informe fue liderado por un/a experto/a temático/a incorporado a la Secretaría Técnica, la cual expandió su equipo especialmente para esta tarea. El rol de este especialista fue hacerse responsable del liderazgo técnico del informe y consistió en redactar el marco conceptual, coordinar los equipos de autores, compilar las contribuciones del documento y elaborar la versión final enfocada en recomendaciones para tomadores de decisiones.
- **Coautores/as y Colaboradores/as:** Investigadores/as, académicos/as y especialistas encargados de redactar secciones específicas basadas en revisiones bibliográficas y datos empíricos. Contaron con la posibilidad de sumar colaboradores (académicos o profesionales) como apoyo técnico.

[1] https://minciencia.gob.cl/areas/comite-cientifico-asesor-cambio-climatico/

2. Fases metodológicas

Fase 1: Identificación de prioridades temáticas

En consideración de la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) 2025, y como punto de partida de este proceso, el C4 identificó cuatro temas prioritarios frente a los desafíos ambientales del país y propuso la redacción de 4 informes temáticos específicos para abordarlos, que a su vez fueran temas claves a abordar en la futura Estrategia Climática de Largo Plazo. El presente documento es el resultado del trabajo en uno de estos ejes prioritarios.

Fase 2: Planificación y Convocatoria

El proceso inició con la definición colaborativa del alcance (Scoping) del informe mediante un grupo focal virtual. Esta instancia participativa reunió a un grupo de científicos e investigadores seleccionados por su destacada trayectoria, con quienes se estableció de manera conjunta el objetivo, la justificación, la metodología y el índice temático del documento. Posteriormente, en base a esta estructura preliminar, se realizó una convocatoria para la selección de coautores, aplicando criterios de representatividad institucional, regional y de género. Las y los participantes fueron invitados a colaborar de manera voluntaria en la redacción de síntesis de evidencias específicas.

Fase 3: Revisión de Evidencia y Diálogo Territorial

Esta fase combinó la revisión exhaustiva del estado del arte en cada temática identificada en la definición de alcance con el levantamiento de información a nivel local, mediante dos procesos paralelos:

- **Elaboración de aportes:** Para la generación de la síntesis de evidencia, los coautores y colaboradores utilizaron protocolos estandarizados y elaborados por la Secretaría para registrar estrategias de búsqueda, criterios de inclusión/exclusión y extracción de datos, abarcando bases de datos científicas y literatura gris (informes gubernamentales e instrumentos de política pública). Se evaluó la pertinencia, calidad y relevancia territorial de cada fuente.
- **Talleres Regionales:** Se desarrollaron encuentros presenciales en Antofagasta, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Punta Arenas para recopilar perspectivas locales sobre los aspectos científicos y técnicos identificados en la definición de alcance. Los aportes y mesas de trabajo fueron transcritos, recodificados y categorizados temáticamente por la Secretaría Técnica para su posterior integración (ver siguiente sección).

Fase 4: Redacción, Integración y Revisión

La elaboración de cada informe temático siguió un proceso iterativo de escritura y revisión estructurado de la siguiente manera:

- **Elaboración del Compilado de Contribuciones:** Los coautores entregaron las secciones asignadas al Experto/a Temático/a de la Secretaría Técnica, quien se encargó de revisarlas y estructurarlas. Este documento operó como repositorio original e íntegro de la evidencia recopilada, albergando la totalidad de la revisión de literatura, los datos y el respaldo técnico aportado por cada grupo de coautores.
- **Revisión experta e institucional:** Esta versión compilada fue enviada al C4 y a la Secretaría Técnica. Los miembros del C4 evaluaron la coherencia, el rigor metodológico y la pertinencia científica de cada aporte, mientras que el resto de la Secretaría Técnica sumó sugerencias adicionales enfocadas en la articulación del contenido.
- **Integración de observaciones:** El/la Experto/a Temático/a recibió y distribuyó estos comentarios a cada grupo de coautores. Los coautores abordaron las correcciones requeridas, realizando los cambios pertinentes en sus textos. Una vez ajustados, el/la Experto/a Temático/a volvió a consolidar el Compilado de contribuciones y lo remitió nuevamente al C4 para una revisión final, asegurando que las observaciones hubiesen sido integradas de forma satisfactoria.
- **Elaboración del Informe Temático Final:** Con el consolidado de contribuciones revisado el/la Experto/a Temático/a elaboró la versión final del informe, poniendo énfasis en desafíos, oportunidades y recomendaciones de política pública para Chile. Para asegurar la trazabilidad y el reconocimiento de la autoría, esta versión final en general mantiene la estructura original de capítulos e incorpora hipervínculos directos a los aportes individuales de los coautores alojados en el Compilado de contribuciones. Adicionalmente, el resto de la Secretaría Técnica integró los hallazgos de los talleres regionales mediante recuadros destacados, visibilizando así las perspectivas locales recogidas.

Fase 5: Validación, Aprobación de Autores y Publicación

Para cerrar el proceso, el C4 realizó una revisión editorial del informe temático final, para sancionar su coherencia y enfoque para la toma de decisiones. Paralelamente, se envió una comunicación oficial a los coautores ratificando los compromisos, las pautas de citación y la disponibilidad de los documentos de respaldo. Finalmente, se consolidaron las carpetas con los productos definitivos para su diseño y publicación.

3. Mecanismos de control de calidad y transparencia

Para resguardar la integridad y ética del proceso, se implementaron los siguientes mecanismos:

- **Declaración de conflictos de interés y confidencialidad:** Todos los participantes suscribieron acuerdos que cedían el dominio de la información al C4 para los fines del informe, resguardando la exclusividad de la obra y previniendo conflictos por duplicidad de publicación académica.
- **Trazabilidad:** Se mantuvieron planillas en formato Excel para documentar de manera transparente las metodologías de búsqueda y la evaluación de la calidad de la evidencia, las cuales formaron parte integral de los entregables.
- **Uso responsable de Inteligencia Artificial (IA):** Se autorizó el uso de IA generativa para correcciones gramaticales o de estilo menores sin requerir declaración. Para usos sustantivos en la redacción, se exigió la inclusión explícita de una declaración y descripción detallada.

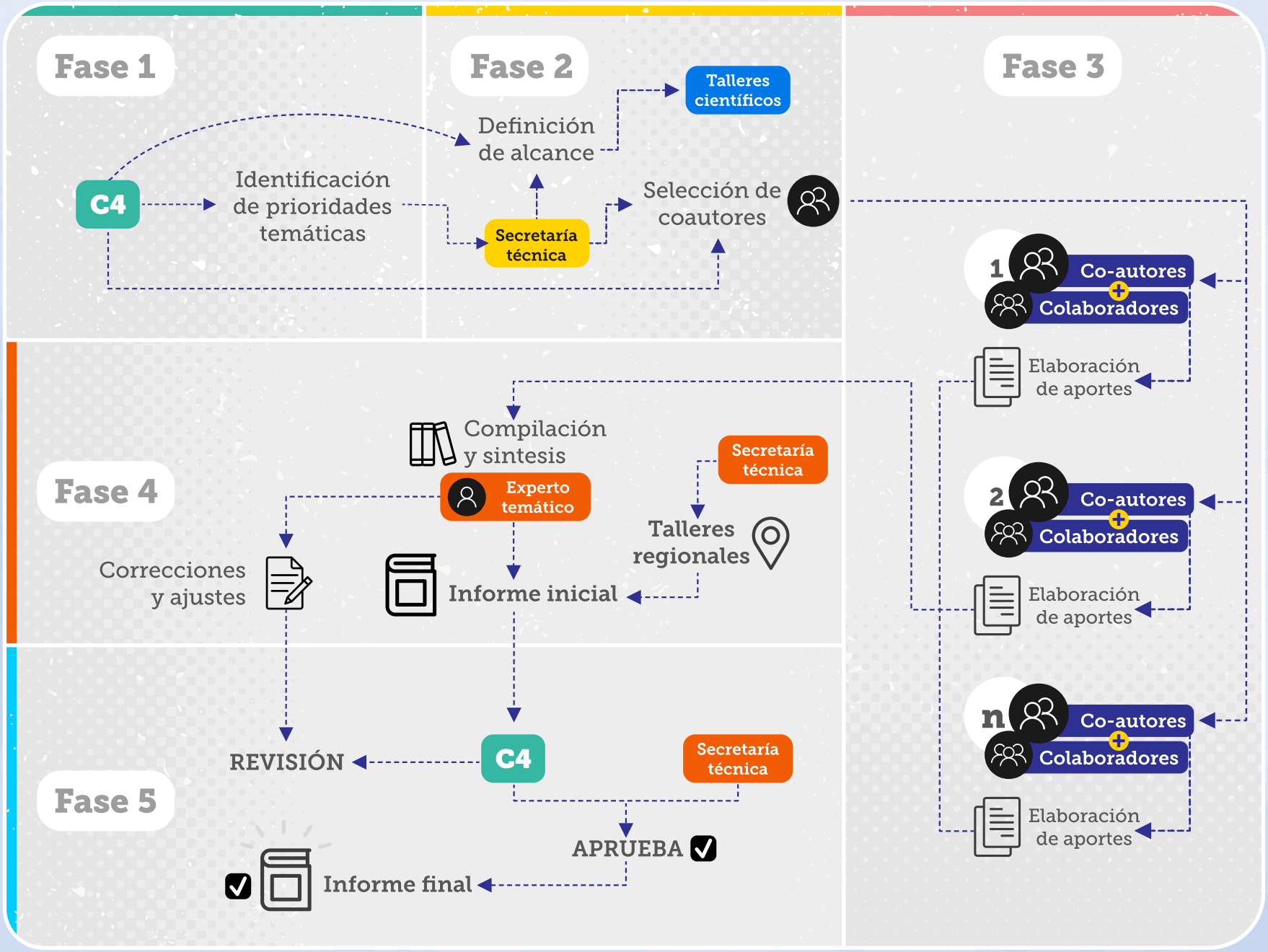

Figura 1. Proceso de elaboración del informe. Fuente: Elaboración propia.

Diálogos científicos por la acción climática

Entre julio y octubre de 2025 se desarrollaron talleres temáticos participativos al alero de la iniciativa "*Diálogos Científicos por la Acción Climática*". Estas instancias consistieron en talleres virtuales a nivel nacional y talleres presenciales en Antofagasta, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Punta Arenas que **convocaron a más de 450 personas, incluyendo a investigadores e investigadoras del país, 65 estudiantes y 90 divulgadores, docentes y comunicadores de la ciencia**. Estos encuentros colaborativos permitieron estrechar lazos entre diferentes públicos, fortaleciendo la acción climática y la toma de decisiones políticas basadas en las evidencias más actualizadas sobre cambio climático, junto a los conocimientos y experiencias provenientes de diferentes territorios del país. El trabajo realizado con estudiantes, divulgadores, docentes y comunicadores de la ciencia es reportado en un informe paralelo, mientras que los aportes de investigadores son recogidos y destacados en este informe.

Tabla 1. Resumen talleres participativos

Ubicación	Comunidad Científica		Comunidad Escolar		Comunidad Divulgación	
	Femenino	**Masculino**	**Femenino**	**Masculino**	**Femenino**	**Masculino**
Virtual	71	53	-	-	-	-
Concepción	29	33	11	11	3	17
Valdivia	10	15	7	5	21	5
Valparaíso	19	15	5	4	11	3
Antofagasta	11	6	4	1	7	3
Punta Arenas	14	8	15	2	12	8
Totales	**154**	**130**	**42**	**23**	**54**	**36**

Tal como se mencionó en la sección anterior, el diseño metodológico de los Diálogos respondió a las prioridades científicas identificadas en la NDC vigente y con miras al actual proceso de actualización de la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP). En coherencia con lo anterior, el proceso participativo con la comunidad científica se organizó en torno a cuatro informes temáticos[2]. El objetivo de los talleres fue **discutir la ciencia y tecnología necesarias para apoyar la implementación de los instrumentos de gestión de cambio climático** a nivel nacional y sectorial, mediante la revisión de las medidas de los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación y las metas de la ECLP. Las discusiones abordaron **dos propósitos principales**: identificar el conocimiento científico local relacionado y las estrategias e intervenciones que faciliten el cumplimiento de los compromisos climáticos, incluyendo propuestas de mejoras para su implementación efectiva en distintos niveles de gestión.

Una vez finalizada la etapa de ejecución de los talleres, se sistematizó la información levantada con cada público a partir de distintos insumos: registros en *post-its*, fotografías de los trabajos grupales y transcripciones de audios de las plenarias. Los objetivos de esta etapa fueron **recuperar, ordenar y reescribir los aportes en insumos útiles para las políticas públicas climáticas**, junto con asegurar la trazabilidad entre los resultados de la participación y los resultados análiticos. Entre los principios metodológicos que orientaron este proceso se consideran el rigor analítico, la representatividad territorial equilibrada, la diferenciación del abordaje según tipo de público, la identificación de convergencias y diferencias regionales, y un enfoque orientado a la utilidad de los resultados para la toma de decisiones.

Estos registros fueron **organizados y analizados mediante un proceso de categorización temática**, que permitió identificar patrones, preocupaciones recurrentes y elementos diferenciadores a nivel regional y nacional que son la base de los recuadros destacados en el texto.

Estos insumos complementan el informe de síntesis de evidencia, para así identificar estrategias e intervenciones que permitan cumplir los compromisos climáticos, además de proponer mejoras para su implementación efectiva. Los principales resultados de los talleres se incluyen en el informe a través de recuadros destacados dentro de las secciones específicas, casos de estudio regionales y/o recomendaciones basadas en evidencia local.

[2] i. Informe temático Salud y Clima, ii. Informe temático Economía Circular, iii. Informe temático Nexo Agua, Energía y Alimentos ,iv. Informe Nexo Océanos, Clima y Biodiversidad.

Resumen

Chile, por su singular geografía y su extensa costa, constituye un laboratorio natural de relevancia global para comprender las interacciones entre océanos, clima y la biodiversidad tanto terrestre como marina. Esta misma condición lo sitúa entre los países más expuestos a los efectos de la crisis climática. El territorio nacional experimenta una intensificación sostenida de cambios físico-químicos: calentamiento, acidificación, desoxigenación y alteraciones en la circulación oceánica, incluido el Sistema de la Corriente de Humboldt, junto con el acelerado retroceso de glaciares y un aumento de la frecuencia de eventos extremos como El Niño/La Niña y las olas de calor tanto terrestres como marinas.

La convergencia de estos forzantes climáticos con presiones antropogénicas históricas como la contaminación, sobreexplotación, cambio de uso de suelo y urbanización costera, está generando impactos ecológicos profundos. Entre ellos destacan desplazamientos latitudinales y altitudinales de especies, degradación de ecosistemas clave como bosques de macroalgas y humedales costeros, y el aumento de riesgos compuestos que vinculan sequías, olas de calor, incendios forestales y floraciones algales nocivas (FAN). Estos procesos reducen la resiliencia de los sistemas naturales y comprometen actividades económicas estratégicas como la pesca y la acuicultura.

Las comunidades costeras, incluyendo pueblos originarios, pescadores artesanales y localidades urbanas litorales, enfrentan una vulnerabilidad creciente debido a su dependencia directa de los ecosistemas marinos y a condiciones estructurales de precariedad. La interacción entre exposición ambiental, presiones productivas y desigualdades socioculturales plantea desafíos significativos en materia de justicia socioambiental.

Chile ha impulsado avances relevantes mediante la Ley Marco de Cambio Climático, el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP), los Planes Sectoriales de Adaptación y modelos de gestión territorial como las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO). Asimismo, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), incluyendo la protección de ecosistemas de carbono azul y verde, ofrecen oportunidades estratégicas para fortalecer la mitigación y la adaptación. No obstante,

persisten desafíos cruciales: fragmentación institucional, ausencia de financiamiento estable para la adaptación, brechas de investigación y monitoreo, particularmente evidentes en la implementación parcial del Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC), y una débil articulación entre instrumentos de política.

El liderazgo del país en la agenda oceánica internacional, reflejado por ejemplo en la creación temprana de su Zona Económica Exclusiva y la reciente ratificación del Tratado Global de los Océanos (BBNJ), entre otras, otorga una plataforma única para consolidar una acción climática robusta y basada en evidencia. Para avanzar, se requiere fortalecer la gobernanza multinivel, integrar el conocimiento científico con el conocimiento local e indígena, y promover una transición productiva sostenible que alinee el desarrollo económico con la resiliencia climática y la justicia socioambiental.


MinCiencia

1 Introducción: Hacia una visión integrada del nexo océanos-clima-biodiversidad (OCB)

Este apartado se basa en los aportes de:
Autoras:
- María Lorena González, Instituto Océanos, Universidad de Concepción.
- Camila Fernández, CNRS Laboratorio de Oceanografía Microbiana, Observatorio Oceanológico de Banyuls sur Mer, Francia; Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

1.1. La Justificación del Enfoque Integrado

Históricamente, la respuesta frente al cambio climático ha sido abordada desde enfoques sectoriales que, al separar los componentes océano, atmósfera y tierra, han frenado los cambios de paradigmas científicos sobre interacciones complejas, la anticipación de impactos sistémicos y el diseño de políticas de adaptación y mitigación eficaces. En este contexto, surge como un imperativo el Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad (OCB), un marco integrado que reconoce la interdependencia de estos sistemas. En el centro de este enfoque se encuentra el océano, un regulador climático global que ha absorbido aproximadamente el 91 % del calor acumulado en el sistema terrestre entre 1971 y 2018 (IPCC, 2019) y cerca del 26 % del carbono antropogénico emitido desde el período preindustrial (Friedlingstein et al., 2023). El océano está intrínsecamente acoplado a las cuencas hidrográficas, la criosfera y la biosfera terrestre, modulando patrones de precipitación, disponibilidad de agua dulce y productividad biológica. Para una nación como Chile, cuya extensa geografía litoral y profunda dependencia socioeconómica de los ecosistemas marinos, la aplicación de este enfoque no es solo relevante, sino de una importancia estratégica fundamental.

El enfoque Nexo OCB es esencial para comprender y responder a los riesgos sistémicos que emergen de la crisis climática. El marco permite analizar la convergencia de amenazas, como los riesgos compuestos cuyo carácter variable implica una frecuencia e intensidad creciente y difícilmente predecible, y la degradación funcional de ecosistemas clave, las cuales se ven agravadas por presiones históricas como la sobreexplotación de recursos y la contaminación. Al articular la evidencia científica disponible, el enfoque Nexo OCB propone una forma estratégica e integradora para la toma de decisiones, orientando el diseño de políticas públicas, la planificación territorial y la gestión ambiental hacia una mayor resiliencia y sostenibilidad en un país cuyo futuro está indisolublemente ligado al mar.

La comprensión de la crisis climática y ecológica es incompleta sin la integración de sus dimensiones sociales. Los impactos del cambio climático no afectan de manera homogénea a la población; por el contrario, las comunidades costeras -incluyendo pueblos originarios, caletas pesqueras y ciudades litorales- enfrentan vulnerabilidades diferenciadas según factores como el género, la identidad cultural, el nivel socioeconómico, el acceso a infraestructura y la dependencia de recursos naturales. La incorporación de una perspectiva interseccional es, por tanto, fundamental. Este enfoque permite diseñar estrategias de adaptación que no solo sean efectivas, sino también justas y culturalmente pertinentes, reconociendo las desigualdades existentes y fortaleciendo la resiliencia socioecológica de los territorios de manera equitativa.

1.2. Objetivos del Informe

Este informe busca consolidar un entendimiento profundo del Nexo Océano-Clima-Biodiversidad en el contexto chileno. Su propósito es sintetizar la evidencia científica más relevante sobre estas interacciones para identificar las vulnerabilidades y riesgos

específicos que enfrentan tanto los ecosistemas marinos y costeros como las comunidades humanas que dependen de ellos. A partir de este diagnóstico, el documento provee recomendaciones basadas en ciencia para el diseño e implementación de políticas públicas, la planificación territorial y las estrategias de adaptación. En última instancia, el informe aspira a promover una visión ecosistémica y transformadora, con un énfasis claro en la justicia socioambiental y en la integración del conocimiento científico en la toma de decisiones a todos los niveles.

1.3. Metodología y Articulación con Instrumentos de Gestión de Cambio Climático

La base metodológica de este informe se sustenta en una revisión sistemática de literatura científica y gris nacional, priorizando la evidencia nacional, y en la realización de talleres interdisciplinarios con comunidades científicas en Valparaíso, Concepción, Valdivia y Punta Arenas. Estratégicamente, el análisis se alinea con instrumentos clave de gobernanza tanto a nivel nacional como internacional, incluyendo la Ley Marco de Cambio Climático, las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), los Planes de Adaptación Sectorial, la Estrategia Nacional de Biodiversidad, el Acuerdo de París y el Tratado sobre la Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad Marina más allá de las Jurisdicciones Nacionales (BBNJ). El objetivo de esta alineación es fortalecer la coherencia entre los distintos marcos normativos y promover acciones coordinadas que integren de manera efectiva el océano, el clima y la biodiversidad en la gobernanza ambiental del país.

Cómo citar esta sección:

González, M. L. & Fernández, C. (2026). *Introducción: Hacia una Visión Integrada del Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad (OCB).* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



2 Dinámicas del nexo Océanos-Clima-Biodiversidad

2.1. Procesos físicos y biogeoquímicos oceánicos críticos

Autores:
- Marcelo H. Gutiérrez, Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción; Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.
- Montserrat Aldunate, Universidad Católica de la Santísima Concepción; Núcleo Milenio para el Estudio de la Desoxigenación en el Océano Pacífico Sur Oriental (DEOXS).

Colaboradoras:
- Daniela Flores, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Pamela Fierro González, Núcleo Milenio para el Estudio de la Desoxigenación en el Océano Pacífico Sur Oriental (DEOXS).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

2.1.1. Hipoxia y Desoxigenación Oceánica: Un Desafío para los Ecosistemas Marinos

La hipoxia y la desoxigenación (bajas concentraciones y disminución progresiva del oxígeno disuelto, respectivamente) son procesos biogeoquímicos de alta relevancia global que representan un desafío estratégico para Chile. La salud de los ecosistemas marinos del país, la sostenibilidad de pesquerías clave y la estabilidad de las economías costeras están directamente vinculadas a los niveles de oxígeno en el océano. La capacidad de anticipar y mitigar los impactos de estos eventos es, por tanto, necesaria para la seguridad alimentaria, económica y ambiental del país.

El desafío para Chile es doble. Por un lado, la costa chilena está naturalmente influenciada por una extensa Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), localizada aproximadamente entre los 100 y 400 metros de profundidad, que se intensifica por eventos de surgencia, llegando incluso a la anoxia (ausencia de oxígeno) (Ulloa & Pantoja, 2008). Por otro, este fenómeno natural se ve exacerbado por el cambio climático global -que calienta y estratifica el océano, limitando su ventilación- y por presiones antropogénicas locales, como la eutrofización. Los impactos ecológicos son severos: desde eventos de mortalidad masiva de zooplancton, moluscos, crustáceos y peces (Hernández-Miranda et al., 2012), hasta la compresión del hábitat de recursos clave como la anchoveta y la merluza (Bertrand et al., 2012; Escribano & Schneider, 2007). A nivel biogeoquímico, la hipoxia modula los ciclos de nutrientes, promueve la emisión de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (Dalsgaard & et al., 2014; Farías, 2009) y, mediante la reducción de sulfato, produce sulfuro de hidrógeno, un compuesto tóxico para la mayoría de los macroorganismos y que promueve la aparición de bacterias gigantes oxidadoras de sulfuro (Gallardo & Espinoza, 2007).

La presencia de una ZMO permanente convierte a Chile en un laboratorio natural privilegiado para el estudio de la hipoxia, ofreciendo una oportunidad única para liderar la investigación global. No obstante, existen brechas de conocimiento críticas que limitan la capacidad de respuesta del país. Estas brechas representan oportunidades estratégicas para la inversión en ciencia y tecnología:

- **Falta de series de tiempo continuas:** La dependencia de proyectos de corto plazo dificulta la distinción entre las causas naturales (ej. variabilidad interanual como El Niño) y las forzantes antropogénicas (eutrofización, cambio climático).
- **Débil integración de datos:** Existe una escasa unificación de los datos de observación oceanográfica generados por distintas instituciones, principalmente universitarias, lo que impide una visión sinóptica del problema.

- **Insuficiente articulación entre observación y modelación:** La falta de integración entre los datos observacionales y los modelos numéricos limita la capacidad de predicción de eventos de hipoxia y su impacto potencial en las pesquerías.
- **Impacto de la presencia de la ZMO en la economía azul:** Ligada a la alta productividad marina y por ende a las pesquerías, es también clave en la huella de carbono nacional a través del ciclo de gases de efecto invernadero y la habitabilidad de la zona costera. Considerando que las zonas con presencia de ZMO abarcan el 65% de las exportaciones/importaciones marítimas, dominar la variabilidad climática de esa zona tiene potencial económico.

Recomendaciones:

1. **Establecer un sistema nacional integrado de observación del océano** que unifique los estándares de datos, garantice el financiamiento de series de tiempo a largo plazo en puntos estratégicos de la costa y fomente la colaboración interinstitucional.
2. **Impulsar el desarrollo de modelos predictivos de alta resolución** que integren datos físicos y biogeoquímicos para anticipar la ocurrencia e intensidad de eventos de hipoxia, permitiendo la implementación de sistemas de alerta temprana para la pesca y la acuicultura.
3. **Incluir la dinámica del oxígeno disuelto en zonas de alta vulnerabilidad climática** en la evaluación de resiliencia de la economía azul.

La desoxigenación es uno de los múltiples estresores químicos que afectan al océano, y su impacto a menudo se combina con el de la acidificación oceánica, otro fenómeno crítico impulsado por el aumento del dióxido de carbono.

2.1.2. Acidificación Oceánica: "El Otro Problema del CO_2" y sus Implicancias

La acidificación oceánica es la disminución sostenida del pH del océano causada por la absorción de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. Conocido como "el otro problema del CO_2" (Doney et al., 2009), este proceso altera la química del sistema de carbonatos en el océano, reduciendo la disponibilidad de iones que organismos como moluscos y crustáceos necesitan para construir sus conchas y esqueletos. Para Chile, cuya economía depende significativamente de la acuicultura, para el cultivo de bivalvos como el mejillón (*Mytilus chilensis*), la acidificación representa una amenaza compleja y directa a la viabilidad de una de sus principales industrias exportadoras.

Los desafíos son multifactoriales. El sistema de surgencia costera de Chile intensifica naturalmente la acidificación al aflorar aguas subsuperficiales que son simultáneamente frías, pobres en oxígeno y de bajo pH. Esto crea condiciones corrosivas para organismos calcificadores, generando una acidificación natural comparable a la proyectada para el océano global hacia el año 2050 (Feely et al., 2008; Orr et al., 2005; Vargas et al., 2016). La predicción de los impactos reales se complica por la interacción de la acidificación con otros estresores, como demuestran estudios en el mejillón chileno, donde la exposición de los padres a condiciones ácidas afecta la resiliencia de su descendencia (Diaz et al., 2018), añadiendo una capa de complejidad al manejo adaptativo.

La costa chilena, con su alta variabilidad natural de pH, ofrece una oportunidad excepcional para estudiar los mecanismos de adaptación. Sin embargo, la principal brecha de conocimiento reside en la "escala de integración", es decir, en la dificultad de extrapolar los resultados de laboratorio al ecosistema. Las respuestas biológicas a la acidificación dependen fuertemente de la interacción con la temperatura, la disponibilidad de alimento, la hipoxia y la salinidad. Por tanto, los experimentos que aíslan un único factor (ej. CO_2) no logran capturar las interacciones sinérgicas que ocurren en escenarios reales, limitando la capacidad predictiva (Doney et al., 2009; Kroeker et al., 2013).

Recomendaciones:

1. **Financiar investigación multifactorial** que vaya más allá de los experimentos unifactoriales y simule condiciones ambientales realistas (ej. variaciones de pH, temperatura, oxígeno y nutrientes) para mejorar la capacidad de predicción de los impactos ecosistémicos.
2. **Implementar redes de monitoreo de alta resolución** del sistema de carbonatos en zonas estratégicas, por ejemplo, para la acuicultura. Esto permitiría establecer umbrales operativos para la industria y desarrollar estrategias de manejo adaptativo basadas en la variabilidad local (Saavedra et al., 2020).

Los cambios químicos en el océano están intrínsecamente ligados a los cambios físicos a gran escala, como los impulsados por el acelerado derretimiento de la criósfera en la Patagonia, entre otros.

2.1.3. Derretimiento Glaciar

La criósfera -el conjunto de agua congelada del planeta- es un componente fundamental del sistema climático. En Chile, cerca del 3,1% del territorio está cubierto por glaciares, con casi el 90% de esta masa ubicada en la Patagonia y Tierra del Fuego (Barcaza et al., 2017). El acelerado retroceso de estos glaciares es uno de los impactos más visibles del cambio climático. Un caso emblemático es el glaciar Jorge Montt, cuyo frente ha retrocedido aproximadamente 19 km desde principios de 1900, con tasas de hasta 1 km por año registradas entre 2010 y 2011 (Rivera et al., 2012). Este derretimiento no es solo un fenómeno terrestre; tiene consecuencias directas y profundas sobre el medio marino adyacente, alterando la física, la biogeoquímica y la ecología de los fiordos patagónicos (González et al., 2013; Cameron et al., 2017; Gutiérrez et al., 2015).

Los impactos del derretimiento glaciar sobre los ecosistemas marinos costeros son múltiples. Físicamente, contribuye al aumento del nivel del mar y altera la estratificación de la columna de agua, afectando los patrones de circulación (IPCC, 2019). Biogeoquímicamente, las aguas de deshielo modifican la disponibilidad de nutrientes esenciales -son pobres en ácido silícico en comparación con las aguas aportadas por ríos, pero pueden transportar altas concentraciones de hierro (Hopwood et al., 2020; IPCC, 2019)- y aumentan la carga de sedimentos, lo que reduce la penetración de la luz y limita la fotosíntesis (Hopwood et al., 2020). A nivel ecosistémico, estos cambios provocan una alteración en la composición del fitoplancton y la productividad primaria (González et al., 2013), generando efectos en cascada que repercuten en toda la red trófica y afectan la biodiversidad.

A pesar de la gran extensión de masa glaciar distribuida a lo largo de nuestro territorio y de la magnitud del desafío, el conocimiento sobre los sistemas glaciares en Chile y sus impactos marinos es escaso. Se requiere un plan de acción coordinado para transformar esta vulnerabilidad en una oportunidad de liderazgo científico.

Recomendaciones:

1. **Aumentar las capacidades técnicas y humanas** que permitan una evaluación permanente, actualizada y representativa del estado de los glaciares en el territorio nacional, promover la generación de conocimiento interdisciplinario sobre las consecuencias biogeoquímicas, ecosistémicas y climáticas relacionadas con la pérdida de masa glaciar.
2. **Fortalecer el Monitoreo:** Implementar redes de observación integradas (glaciológicas, meteorológicas y biogeoquímicas) en zonas sub-estudiadas de la Patagonia para cuantificar el aporte de agua de deshielo y sus efectos en los sistemas marinos.
3. **Aumentar la Capacidad de Modelación:** Impulsar el desarrollo de modelos acoplados que simulen la interacción entre el deshielo y la dinámica oceanográfica para prever cambios en la circulación, productividad y estructura de los ecosistemas.
4. **Impulsar la Investigación de Resiliencia:** Financiar estudios para identificar los umbrales críticos de especies y ecosistemas clave frente a los cambios inducidos por el derretimiento, considerando la interacción con otros estresores.

5. **Promover la Transferencia de Conocimiento:** Crear un programa formal para integrar los hallazgos científicos en las políticas públicas de adaptación al cambio climático y comunicarlos de manera efectiva a la sociedad, asegurando que la toma de decisiones esté informada por la mejor ciencia disponible.

Cómo citar esta sección:

Gutiérrez, M., Aldunate, M. H., Flores, D., & Fierro González, P. (2026). *Procesos Físicos y Biogeoquímicos Oceánicos Críticos*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

2.2. Interacciones y retroalimentaciones entre clima, biodiversidad y servicios ecosistémicos

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:
- Aníbal Pauchard, Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).
- Patricio Pliscoff, Centro de Estudios Territoriales, Universidad de los Andes; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

Colaborador:
- Eduardo Fuentes-Lillo, Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

Comprender las dinámicas climáticas a escala nacional es un prerrequisito estratégico para cualquier análisis regional y para el diseño de políticas efectivas. Chile presenta una alta vulnerabilidad sistémica, derivada de su marcado gradiente latitudinal, una fuerte dependencia económica de sus recursos naturales y una intensificación progresiva de la aridez, particularmente en su zona central (Garreaud et al., 2019, 2025). Estos factores estructurales magnifican los impactos del cambio climático global, exigiendo una respuesta coordinada y basada en la ciencia.

Los forzantes físicos clave que afectan al país son inequívocos. Modelamientos de alta resolución proyectan calentamientos del orden de ~3 a 6°C hacia fines de siglo, una marcada reducción de precipitaciones en la zona centro-sur, un adelanto del deshielo en 1 a 2,5 meses y pérdidas de nieve equivalentes a 200-1000 mm (Bambach et al., 2021). Estos cambios climáticos no operan de forma aislada; se superponen y refuerzan con otros impulsores globales, como el cambio de uso de suelo, la proliferación de especies invasoras y la sobreexplotación de recursos, creando impactos sinérgicos que degradan la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y marinos.

Estas tendencias en Chile se manifiestan con distinta intensidad y características en cada región, lo que hace indispensable un análisis territorializado para identificar los puntos de mayor tensión y las palancas de acción más efectivas.

2.2.1 Macrozona Norte Árida–Altoandina

La macrozona norte enfrenta un desafío único, definido por la interacción crítica entre una aridez extrema, un calentamiento proyectado que podría alcanzar los 4°C en zonas altoandinas, y una creciente presión sobre recursos hídricos vitales como salares y humedales, reduce la productividad y la disponibilidad de hábitat para invertebrados, peces y aves (Yáñez et al., 2017). Esta convergencia de factores está reconfigurando la biodiversidad a un ritmo acelerado, generando desplazamientos altitudinales de ecosistemas y una contracción de los nichos climáticos para las especies.

La biodiversidad de los ecosistemas acuáticos altoandinos se encuentra bajo una doble presión. El cambio climático, a través de una mayor demanda evaporativa, se suma a la extracción de agua para actividades productivas, creando un "cuello de botella" hidroecológico. La alta sensibilidad climática de la región se evidencia en registros paleoecológicos que documentan descensos de rango de hasta 1000 m de altitud en la vegetación durante períodos pluviales pasados. Indicadores actuales, como las poblaciones de flamencos en el Salar de Atacama, ya reflejan esta tensión, variando directamente con la disponibilidad hídrica (Gutiérrez et al., 2022).

Existe una oportunidad clara para enfocar los esfuerzos de conservación y política pública en la protección de salares y humedales altoandinos. Estos ecosistemas no son solo reservorios de biodiversidad única, sino también nodos tróficos y de subsistencia regional, cuya integridad es fundamental para la resiliencia socioecológica de la macrozona (Yáñez et al., 2017).

Recomendaciones:
Avanzar hacia un modelo de gestión hídrica integrada que incorpore umbrales ecológicos para la protección de los ecosistemas acuáticos. Esta medida es particularmente urgente en cuencas con alta demanda de agua por actividades extractivas, asegurando que el uso del recurso no comprometa la funcionalidad y persistencia de estos frágiles ambientes.

2.2.2. Macrozona Centro Mediterránea

Esta macrozona es de una importancia estratégica fundamental: es un *hotspot* mundial de biodiversidad que, al mismo tiempo, concentra la mayor parte de la población y la actividad agrícola e industrial del país. Aquí, la denominada "hipermegasequía" - definida como la superposición de una sequía multianual de origen climático con presiones estructurales antrópicas que amplifican y cronifican el déficit hídrico (Garreaud et al., 2025)- se ha consolidado como una amenaza existencial para la seguridad hídrica y la estabilidad de los ecosistemas.

La crisis hídrica se manifiesta con datos contundentes: el 87% de los pozos monitoreados y el 90% de las estaciones fluviales muestran descensos significativos, resultados de la co-acción del clima y el cambio de la cobertura vegetacional (Fuentes et al., 2021). Este colapso hidrológico es el resultado directo de la sinergia entre déficits pluviométricos del 20 - 40% y cambios de uso de suelo, como la sustitución de vegetación natural por agricultura intensiva y plantaciones forestales. A su vez, los bosques nativos sufren una degradación funcional evidenciada por un marcado pardeamiento de la vegetación, asociado al cierre estomático, reducción fotosintética y pérdida de biomasa (Cueto et al., 2025). Esto compromete servicios ecosistémicos críticos para la economía, como el control biológico y la polinización, amenazando a especies nativas y endémicas, como las abejas *Svastrides melanura*, *Centris chilensis*, respectivamente. Finalmente, en el continuo urbano-rural la convergencia de calor extremo, sequía y acumulación de combustible ha elevado exponencialmente el riesgo de megaincendios.

En este complejo escenario, las proyecciones de riesgo indican que bajo escenarios de altas emisiones (RCP8.5), entre el 31% y el 44% del territorio se encontrará en alto riesgo, con escasos refugios climáticos localizados en Andes centrales y algunas franjas costeras (Muñoz-Sáez et al., 2021). Esto posiciona a la Cordillera de los Andes como un potencial "refugio topoclimático" para la biodiversidad ante el calentamiento futuro (Fuentes-Castillo et al., 2019), subrayando la oportunidad estratégica de priorizar la protección y conectividad ecológica de los ecosistemas de montaña.

Recomendaciones:
Adoptar un enfoque de política pública multidimensional que aborde: 1) la seguridad hídrica a escala de cuenca, integrando la gestión del agua con la conservación de los ecosistemas que la regulan; 2) una gestión integrada del paisaje para reducir el riesgo de incendios; y 3) el fomento de prácticas agrícolas que conserven la biodiversidad nativa y los servicios ecosistémicos.

2.2.3. Macrozona Sur Templado-Lluviosa y Patagonia

En la macrozona sur, el calentamiento global impacta de forma crítica sobre la criosfera (nieve y glaciares), alterando fundamentalmente los regímenes hidrológicos que sostienen ecosistemas únicos en el mundo, como humedales, turberas y bosques templados lluviosos, con efecto cascada sobre caudales estivales y hábitats dependientes de pulsos nival-pluviales (Bambach et al., 2021).

La pérdida de la cubierta de nieve y el adelanto del deshielo disminuyen la recarga de acuíferos y reducen drásticamente la disponibilidad de agua en verano. Esto genera un estrés hídrico en ecosistemas acuáticos y terrestres que históricamente dependían de pulsos de agua nival y pluvial.

Las proyecciones indican un alto riesgo para especies emblemáticas. El huemul enfrenta una contracción de su hábitat idóneo, con un menor solapamiento con las áreas protegidas existentes (Riquelme et al., 2018). Similarmente, los peces dulceacuícolas nativos podrían perder más del 50% de su área de

distribución actual (Lacy & Martinez-Gonzalez, 2024), evidenciando la insuficiencia de la red actual de áreas protegidas.

Recomendaciones:

En esta zona, los modelos sugieren un posible aumento de productividad en plantaciones industriales (*Pino radiata* o *insigne*, eucalipto) debido a la fertilización por CO_2. No obstante, esta ganancia potencial puede ser anulada por sequías más frecuentes y un mayor peligro de incendio, convirtiendo estos sumideros en fuentes netas de carbono (Carrasco et al., 2022). Esto crea una oportunidad estratégica para fortalecer la resiliencia del paisaje a través de políticas que promuevan corredores ecológicos y una planificación territorial que incorpore la "velocidad climática", asegurando la conectividad entre áreas protegidas y paisajes productivos (Fuentes-Castillo et al., 2020). Entendiendo que la salud de los ecosistemas terrestres está íntimamente ligada a la dinámica de la interfaz oceánica adyacente, estableciendo un continuo ecológico tierra-mar.

2.2.4. Interfaz Océano-Continente y Servicios ecosistémicos

La identidad de Chile está indisolublemente ligada al Océano Pacífico. El cambio climático global se manifiesta de forma directa en el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt a través de tres procesos simultáneos: calentamiento, desoxigenación y acidificación. Estos cambios fisicoquímicos impactan a toda la cadena trófica, desde el plancton hasta las pesquerías (Dewitte et al., 2021) que sostienen a miles de comunidades costeras.

Los desafíos en esta interfaz están profundamente interconectados. La amenaza climática actúa en sinergia con presiones no climáticas como la sobrepesca, la contaminación y los descartes, reduciendo la resiliencia del ecosistema marino. En el borde continental, los humedales costeros exhiben una alta vulnerabilidad, resultado de la convergencia de clima, cambios de cobertura, incendios y presión humana (Hidalgo-Corrotea et al., 2023), lo que compromete sus servicios de provisión, regulación y culturales en localidades dependientes de pesquerías y del turismo costero (Comité Científico COP25, 2019d).

Recomendaciones:

La principal oportunidad para la adaptación reside en la implementación de un manejo con enfoque ecosistémico y en el fortalecimiento de la red de áreas marinas protegidas. Se recomienda formular políticas que promuevan la gestión integrada de la zona costera. La integración de estos análisis regionales permite formular una recomendación de política nacional coherente y de alto impacto.

2.2.5. Convergencia y Respuesta Estratégica

La síntesis de los diagnósticos regionales revela patrones comunes de degradación funcional de los ecosistemas de la vegetación nativa. Es fundamental trascender un enfoque sintomático y formular una respuesta de política pública que aborde las causas estructurales de la vulnerabilidad, reconociendo las sinergias destructivas que operan a escala de paisaje.

A lo largo del país converge un mecanismo común de degradación: la interacción destructiva entre forzantes climáticos y presiones antrópicas. Esta sinergia es paradigmática en las cuencas andinas. En la del río Aconcagua, la megasequía ha provocado un déficit de precipitación cercano al 45%, con reducciones de caudal que alcanzan el 90% en algunos periodos (Webb et al., 2021). De forma similar, en las cuencas de los ríos Maule y Maipo, la combinación de factores climáticos y uso intensivo del suelo ha generado caídas superiores al 30% en la disponibilidad de agua superficial, mientras cerca del 70% de la población habita zonas con estrés hídrico creciente (Fuentes et al., 2021; Garreaud et al., 2019).

Recomendaciones:

La principal recomendación estratégica de esta sección es la necesidad de ejecutar un pivote estratégico en la política climática y de conservación.

Es crucial transitar desde una dependencia de políticas climáticas centradas en plantaciones industriales -cuya permanencia de carbono no está garantizada bajo extremos climáticos e incendios- hacia un portafolio diversificado y robusto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Estas soluciones

implican acciones concretas de restauración y conservación de bosques nativos, humedales costeros y altoandinos, y turberas. A diferencia de los monocultivos, estos ecosistemas naturales ofrecen múltiples co-beneficios de biodiversidad y agua a escala de paisaje (Hoyos-Santillán et al., 2021) que son fundamentales para la resiliencia nacional:

- Mayor permanencia y seguridad del carbono secuestrado.
- Mejora sustancial en la regulación hídrica y la recarga de acuíferos.
- Conservación efectiva de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados.
- Aumento de la resiliencia socioecológica a escala de paisaje, reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades y economías locales.

Cómo citar esta sección:

Pauchard, A., Pliscoff, P., & Fuentes-Lillo, E. (2026). *Interacciones y Retroalimentaciones entre Clima, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Síntesis de talleres regionales con la comunidad científica

Recuadro 1. Integrar el nexo océano–clima–biodiversidad en la planificación territorial: brechas y oportunidades regionales

Los talleres regionales coincidieron en que la biodiversidad actúa como un nexo estructural que articula flujos de energía y procesos ecológicos entre el clima, el océano y los hábitats costeros, condicionando la provisión de servicios ecosistémicos y, por ende, la resiliencia de las comunidades humanas. Se enfatizó que los cambios oceanográficos y la consiguiente redistribución de especies están alterando esta funcionalidad de los ecosistemas e impactando los medios de vida locales. Se propuso fortalecer los sistemas de monitoreo y la gobernanza costera para incorporar explícitamente los escenarios climáticos en la priorización de medidas de conservación y adaptación.

En Concepción, el análisis se orientó hacia el ordenamiento territorial y la necesidad de integrar el enfoque del nexo océano-clima-biodiversidad en la planificación municipal y regional, con énfasis en mantener y restaurar las interacciones críticas en la interfaz tierra-mar, que sostienen los servicios ecosistémicos locales. En Valparaíso, las observaciones se centraron en los cambios oceanográficos y en cómo estos alteran el uso de hábitats por parte de la fauna marina. Se hizo un llamado explícito a implementar una gestión integrada del monitoreo oceanográfico que pueda informar el manejo adaptativo de hábitats críticos, como los bosques de macroalgas y su incidencia en la captura del "carbono azul".

A lo largo de los talleres se discutieron los avances científicos en la detección de acidificación, episodios de hipoxia y derretimiento glacial; la interacción entre estos procesos fisicoquímicos y

la biodiversidad; y los estudios sobre redistribución de especies y los cambios en el uso de hábitats. Estos elementos configuran una base metodológica para mejorar la vigilancia ambiental y desarrollar modelos predictivos más precisos. No obstante, se señaló la necesidad de ampliar la cobertura espacial del monitoreo y garantizar la interoperabilidad de datos, para que la evidencia generada sea directamente aplicable a las decisiones territoriales.

Orientaciones para la toma de decisiones:

- Se sugiere integrar explícitamente el enfoque océano-clima-biodiversidad en los instrumentos de ordenamiento territorial y planificación costera, con el fin de preservar las interacciones ecológicas críticas.
- Se recomienda consolidar redes regionales de monitoreo (físico, químico y biológico) con datos interoperables. Esta información es fundamental para alimentar escenarios climáticos, modelar cambios en la distribución de especies y fundamentar la toma de decisiones.
- Se sugiere priorizar la protección y el manejo adaptativo de hábitats críticos, como los bosques de macroalgas y humedales, considerando la variabilidad oceanográfica y las proyecciones de redistribución de la biota.
- Se sugiere evaluar y priorizar la vigilancia de la salud ecológica de especies clave e integrar esta información en los sistemas de alertas tempranas, los planes de manejo pesquero y las estrategias de conservación de la biodiversidad.

2.3. Escenarios climáticos proyectados y riesgos múltiples

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:
- Humberto E. González, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile; Centro IDEAL.
- Enzo Acuña (2.3.6. Ríos Atmosféricos), Departamento de Biología Marina, Universidad Católica del Norte.

Colaboradores:
- Andrea Piñones Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile; Centro IDEAL; Centro COPAS Coastal; Instituto Milenio BASE.
- José Garcés-Vargas, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile; Centro IDEAL.
- Ricardo Giesecke, Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, , Universidad Austral de Chile; Centro IDEAL.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

2.3.1. Alteraciones en la Dinámica Oceánica y sus Consecuencias Sistémicas

Las corrientes y sistemas de circulación oceánica son la base de la productividad y estabilidad de los ecosistemas marinos de Chile, transportando nutrientes y regulando las condiciones del hábitat. Sin embargo, el cambio climático está alterando profundamente esta dinámica, con consecuencias sistémicas para la biodiversidad y las actividades económicas que dependen de ella.

El análisis de las corrientes clave revela una doble amenaza. Por un lado, la intensificación de los vientos está modificando los patrones de surgencia en el Sistema de Humboldt, un proceso vital para la productividad pesquera. Simultáneamente, la megasequía que afecta al país ha reducido las "plumas" de agua dulce de los ríos en hasta un 50% (Masotti et al., 2018), disminuyendo el aporte de nutrientes esenciales como nitratos y fosfatos, que fertilizan las aguas costeras y sustentan directamente las pesquerías de sardina y anchoveta. Por otro lado, en la zona austral, la Corriente de Cabo de Hornos se ve alterada por una combinación de vientos más intensos y un mayor aporte de agua dulce por el derretimiento de glaciares. Esta modificación está reconfigurando el hábitat de especies de alta importancia comercial, como la merluza austral y la merluza de cola (Toledo et al., 2020; Veroes et al., 2023) y amenaza con alterar la capacidad de los sistemas costeros para secuestrar CO_2 (Torres et al., 2023). Esta desestabilización de las corrientes fundamentales no solo amenaza la base de nuestra economía oceánica, sino que también crea las condiciones para la intensificación de eventos extremos, multiplicando los frentes de riesgo.

2.3.2. La Creciente Amenaza de las Olas de Calor Marinas y Terrestres

El monitoreo de las olas de calor, tanto marinas como terrestres, se ha convertido en un indicador fundamental del estrés climático directo sobre los ecosistemas y la sociedad. La evidencia científica muestra un claro incremento en su frecuencia e intensidad a lo largo del territorio nacional, desde los Andes y el valle central hasta los ecosistemas marinos de la Península Antártica, donde se han registrado alzas de temperatura de hasta 3°C por sobre el promedio histórico, como ocurrió en enero-febrero de 2020 (Piñones et al., 2024).

Las consecuencias ecológicas de estos eventos son profundas y directas. En el océano, las aguas más cálidas provocan cambios estructurales en las comunidades de plancton, favoreciendo la transición de especies nutritivas como el krill hacia organismos gelatinosos como las salpas (Pakhomov et al., 2002), y de diatomeas grandes a pequeños flagelados (Iriarte & González, 2004). Esta reconfiguración degrada la calidad de la base de la trama trófica, afectando a especies superiores como peces, aves y

mamíferos marinos, y reduce la eficiencia de la "bomba biológica", el proceso natural por el cual el océano secuestra carbono. Las condiciones de aguas más cálidas y estratificadas crean, a su vez, un entorno propicio para la proliferación de otros fenómenos de alto riesgo (ej. florecimientos algales nocivas).

2.3.3. Florecimientos Algales Nocivas: Un Riesgo Climático y Sanitario de Alta Prioridad

Los Florecimientos Algales Nocivas (FANs) representan una de las amenazas más directas y multifactorial del cambio climático para la zona sur-austral de Chile. Condiciones como la sequía, la alta radiación solar y las alteraciones en la circulación oceánica crean un escenario ideal para la proliferación de microalgas tóxicas. Estos eventos no son solo un problema ecológico, sino una crisis de salud pública y económica con impactos devastadores.

En el contexto de Salud Pública, Chile posee la tasa más alta de intoxicación y muertes por toxinas marinas en Latinoamérica (Sunesen et al., 2021). En 2018 se registró la mayor concentración de toxina paralizante jamás documentada en el país, con niveles que superaron en casi 1.800 veces el límite permitido para el consumo humano (Díaz et al., 2019; Guzmán et al., 2018; Rivera-Belmar & Tocornal-Ríos, 2018).

En términos económicos y sociales, las FANs generan graves pérdidas para sectores productivos que dependen del mar, como la pesca artesanal, la acuicultura y el turismo (Araos et al., 2019; Díaz et al., 2019; Mascareño et al., 2018). Un solo evento en 2016, causado por la microalga *Pseudochattonella*, provocó la muerte de aproximadamente el 12% de la producción nacional de salmones (León-Muñoz et al., 2018), evidenciando la extrema vulnerabilidad de la industria.

La alteración de estas comunidades microscópicas es un síntoma de cambios más amplios que están reestructurando la biodiversidad marina.

2.3.4. Alteraciones en la Biodiversidad

El cambio climático está provocando una reorganización de la biodiversidad marina, operando simultáneamente desde la base de la trama trófica y en sus fronteras geográficas. Mientras las comunidades de plancton se degradan internamente, las barreras naturales que protegían a nuestros ecosistemas más prístinos se debilitan externamente, abriendo la puerta a bioinvasiones con consecuencias impredecibles.

El análisis de la biodiversidad revela dos niveles de alteración críticos. Primero, se observa un cambio progresivo en las comunidades de plancton, con un reemplazo de ecosistemas dominados por organismos quitinosos (krill, copépodos) hacia aquellos dominados por organismos gelatinosos (salpas, medusas). Este cambio, impulsado por la eutrofización, el calentamiento, la sobrepesca de sus depredadores, cambio en la estructura de tamaño del plancton y la contracción de hábitats debido a la pérdida de hielo, reduce la eficiencia de las tramas tróficas y disminuye la capacidad del océano para secuestrar carbono (Cavan et al., 2024). Segundo, el calentamiento del Océano Austral está debilitando las barreras térmicas que protegen la Antártica, aumentando el riesgo de bioinvasiones. Si bien las condiciones del invierno antártico actual todavía representan una barrera efectiva para especies subantárticas como el chorito (*Mytilus chilensis*), se proyecta que el calentamiento continuo, especialmente en zonas críticas como el oeste de la Península Antártica, erosionará esta defensa natural. Esto podría permitir su establecimiento definitivo, exacerbado por el creciente tráfico marítimo (Navarro et al., 2024), con consecuencias impredecibles para la biodiversidad única de la región.

2.3.5. Ríos Atmosféricos: Intensificación de Eventos Hidrometeorológicos Extremos

Los ríos atmosféricos, intensos corredores de humedad en la atmósfera, tienen una naturaleza dual para Chile. Por un lado, son cruciales para mitigar las condiciones de sequía; por otro, son responsables de precipitaciones extremas que pueden provocar inundaciones y deslizamientos de tierra catastróficos.

Las proyecciones indican que el calentamiento global intensificará las precipitaciones asociadas a estos eventos (Payne et al., 2020). Esto presenta un desafío mayúsculo para la gestión

de riesgos en Chile, sobre todo en la zona Centro-sur, ya que amplifica el contraste entre años de sequía prolongada y eventos de lluvia extrema influyendo en las plumas de ríos, hidrodinámica y ciclos biogeoquímicos del océano (Garcia-Santos et al., 2025). Esta volatilidad genera una alta incertidumbre para la planificación hídrica, la agricultura, la infraestructura y los ecosistemas costeros. Ante esta acumulación de desafíos interconectados, la adopción de un conjunto de recomendaciones estratégicas no es una opción, sino un imperativo para la seguridad hídrica, alimentaria y de infraestructura del país.

2.3.6. Recomendaciones

1. **Garantizar Financiamiento Estatal Estable:** Es crucial establecer una glosa presupuestaria permanente a nivel de Estado para sostener las series de tiempo y los programas de monitoreo de largo plazo. Solo a través de la recolección continua de datos se puede comprender la magnitud de los cambios y desarrollar modelos predictivos robustos.
2. **Fortalecer la Articulación Ciencia-Política:** Se debe crear y consolidar mecanismos eficientes que mejoren la conexión y el flujo de información entre la comunidad académica y los responsables de la toma de decisiones. Esto asegurará que las políticas públicas estén basadas en la mejor evidencia científica disponible.
3. **Promover la Cooperación Científica Internacional:** Es imperativo fortalecer la participación activa de Chile en programas internacionales de monitoreo y análisis. La colaboración global es indispensable para abordar desafíos transfronterizos y sustentar medidas efectivas de protección y uso sostenible de los ecosistemas marinos.
4. **Optimizar la Gestión de Permisos para la Investigación:** Se recomienda una reforma administrativa para acortar y simplificar la tramitación de permisos para la recolección de datos oceanográficos en aguas jurisdiccionales. Facilitar las expediciones científicas, tanto nacionales como internacionales, es una condición necesaria para acelerar la generación de conocimiento.

Cómo citar esta sección:

González, H. E., Acuña, E., Piñones, A., Garcés-Vargas, J., & Giesecke, R. (2026). *Escenarios Climáticos Proyectados y Riesgos Múltiples*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

2.4. Presiones antropogénicas: contaminación, sobreexplotación de recursos y efectos en sistemas socioecológicos costeros y marinos

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Verónica Molina, HUB AMBIENTAL UPLA, Universidad de Playa Ancha; Centro COPAS Coastal; Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha.

Colaboradora:
- Fernanda Rodríguez-Rojas, HUB AMBIENTAL UPLA, Universidad de Playa Ancha; Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

Los ecosistemas costeros y marinos de Chile, caracterizados por su alta diversidad biológica, proveen servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, incluyendo la provisión de alimentos, la regulación climática y el sustento de actividades económicas clave como la pesca artesanal y el turismo. La creciente intensidad de las actividades humanas, sumada a los efectos de la crisis climática, ejerce una presión sin precedentes sobre estos sistemas. Esta convergencia de factores constituye una amenaza directa a la resiliencia ecológica de los ecosistemas marinos y, por extensión, a la estabilidad de las estructuras sociales, económicas y culturales que dependen de ellos (Solé Figueras et al., 2024).

El análisis de la evidencia científica revela tres categorías principales de presión antropogénica que operan de manera simultánea y acumulativa: la contaminación derivada de fuentes industriales y urbanas, la sobreexplotación de recursos naturales bentónicos y pelágicos, y la transformación productiva del borde costero, impulsada por una industrialización y urbanización acelerada que satura áreas de alto valor ecológico. La magnitud de estas presiones presenta una marcada variabilidad geográfica, configurando un mosaico de desafíos a lo largo del país.

- **Zona Norte:** La escasez hídrica estructural se combina con una alta carga de contaminantes provenientes de la actividad industrial y minera.
- **Zona Centro-Sur:** Las bahías y humedales costeros concentran múltiples presiones, incluyendo operaciones portuarias, cordones industriales, efluentes de la agricultura y la industria de la celulosa, y una densa urbanización.
- **Zona Austral (Fiordos y Canales):** La expansión de actividades productivas intensivas, principalmente la acuicultura, genera crecientes tensiones con los objetivos de conservación de la biodiversidad en ecosistemas de alta sensibilidad.

Comprender esta complejidad exige un enfoque de sistemas socioecológicos, comenzando por un análisis detallado de los contaminantes específicos que actúan como vectores primarios de esta degradación.

2.4.1. Clasificación de Contaminantes y sus Impactos Ecosistémicos

La identificación y clasificación de los contaminantes presentes en el medio marino es un paso fundamental para el diseño de estrategias de mitigación efectivas. Sin embargo, la literatura científica disponible presenta un sesgo hacia contaminantes

específicos, como los plásticos, dejando un vacío de conocimiento sobre compuestos emergentes (e.g fármacos, antibióticos) y, crucialmente, sobre sus efectos sinérgicos. Este sesgo representa un desafío para lograr una comprensión integral del riesgo químico que enfrentan los ecosistemas.

A continuación, se presenta una categorización de los principales grupos de contaminantes identificados en el contexto chileno y sus impactos documentados:

- **Eutrofización:** Origen en acuicultura, agricultura y aguas residuales. Causa deterioro de la calidad del agua y potencia floraciones de algas nocivas, con impacto en la pesca artesanal, la misma acuicultura y el turismo en los fiordos de la Patagonia (Iriarte et al., 2010).
- **Compuestos Sintéticos:** Con más de 300.000 compuestos químicos comercializados mundialmente, incluyen fármacos, pesticidas y antibióticos. Detectados en zonas industriales y bajo influencia acuícola (Patagonia), con efectos tóxicos en la biota.
- **Carbono orgánico disuelto antropogénico (ADOC):** Estudiados principalmente en zonas impactadas por actividad industrial, incluyen Hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos químicos emergentes, antimicrobianos y pesticidas de la industria acuícola y fármacos de uso médico en humanos, con potenciales efectos tóxicos sobre la biota acuática (Soriano et al., 2024).
- **Macro y Microplásticos:** Derivados de fuentes primarias y secundarias. La salmonicultura y mitilicultura aportan ~40% de microplásticos en sedimentos de la Patagonia (Honorato-Zimmer et al., 2024; Jorquera et al., 2022), representando un riesgo para organismos bentónicos y especies recurso.
- **Metales Pesados:** Provenientes de la minería (transporte, relaves). Se concentran en zonas como Antofagasta, Quintero y Chañaral. Incluyen cobre (Cu), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Son bioacumulativos, persistentes y afectan desde organismos basales (foraminíferos) hasta redes tróficas completas.

La presencia de esta diversidad de contaminantes rara vez ocurre de forma aislada, generando efectos combinados y sinérgicos que amplifican el riesgo y la degradación de los sistemas socioecológicos.

2.4.2. Efectos en Sistemas Socioecológicos: Contaminación y Sobreexplotación

Los impactos de las presiones antropogénicas no pueden evaluarse de forma aislada, ya que su interacción amplifica los riesgos para la biodiversidad y las actividades económicas que dependen de ella. La convergencia de la contaminación, la sobreexplotación de recursos y el cambio climático genera un efecto multiplicador que debilita la capacidad de los ecosistemas para recuperarse y seguir proveyendo servicios esenciales.

Un ejemplo claro del impacto sinérgico de los contaminantes se observa en la Bahía de Quintero. Estudios demuestran que la combinación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) y metales pesados se transfiere eficientemente a través de la cadena trófica, desde el alga *Macrocystis pyrifera* (huiro) hasta el erizo negro (*Tetrapygus niger*). Este proceso genera un alto riesgo ecológico para la vida silvestre y amenaza especies de importancia comercial como el erizo rojo (*Loxechinus albus*), ya que las concentraciones detectadas superan los umbrales de calidad internacionales.

Asimismo, la doble presión sobre los bosques de macroalgas (*kelp*) ilustra la interacción entre la extracción y el estrés climático. La sobreexplotación, con remociones de hasta el 90% del recurso en sitios de estudio, evidenció la baja capacidad de recuperación de esta especie, así como pérdidas significativas en la estructura comunitaria de macroinvertebrados asociados (Bularz et al., 2022). En paralelo, proyecciones bioclimáticas anticipan una reducción de más del 50% en la distribución de especies clave para el año 2050

(M. Duarte et al., 2025). Esta sinergia compromete gravemente el rol fundamental de estos bosques como sumideros de carbono, refugio de biodiversidad y soporte de redes tróficas, afectando directamente la sostenibilidad de las pesquerías bentónicas.

Comprender estos efectos combinados requiere examinar el rol de industrias específicas que actúan como fuentes persistentes de estas presiones.

2.4.3. Influencia Específica de Industrias en la Zona Costera y su Interacción con Otras Actividades Productivas

La desalinización y descarga de salmuera y su rápida expansión y proliferación en Chile, introduce una nueva presión antropogénica sobre los ecosistemas costeros. Existe poca evidencia científica nacional con respecto a su impacto, en contraste con estudios internacionales que reconocen a la salmuera como un contaminante emergente, documentando impactos en el fondo marino desde afectación funcional y morfológica en los organismos hasta cambios en la composición de las comunidades bentónicas (Sirota et al., 2024).

La descarga de aguas residuales aporta de manera continua nutrientes, materia orgánica y contaminantes emergentes (fármacos, antibióticos, microplásticos) al medio marino, con potenciales efectos sobre la eutrofización, la salud pública, el turismo y la funcionalidad de áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) (Pozo-Solar et al., 2023).

Efluentes y relaves mineros han generado impactos directos en la zona costera, asociado a emisarios submarinos y a vertidos mineros directos al mar, como el caso de Chañaral (1938 a 1990), lo que provocó cambios en el borde costero y bioacumulación de metales pesados en algas y fauna local (Rodríguez et al., 2021); e indirectos, como el transporte de concentrados minerales, y la exposición humana crónica a metales, con riesgo sanitario en comunidades costeras (Cortés et al., 2025).

2.4.4. Desafíos Clave

- **Vacíos Regulatorios y Científicos:** El acelerado crecimiento de industrias emergentes, como la desalación, avanza a un ritmo que supera la generación de evidencia científica y el desarrollo de marcos regulatorios adecuados. Actualmente operan 16 plantas desaladoras que descargan aproximadamente 10.000 Ls^{-1} de salmuera, con impactos acumulativos aún poco comprendidos.
- **Contaminación Histórica Persistente:** Zonas como Quintero y Chañaral exhiben una "memoria ambiental" en sus sedimentos. La descarga de más de 350 millones de toneladas de concentrado de cobre en Chañaral entre 1938 y 1990 es un ejemplo extremo de cómo metales pesados y relaves mineros actúan como fuentes crónicas de contaminación.
- **Impactos Sinérgicos y Acumulativos:** Existe una brecha crítica en la comprensión y el monitoreo de los efectos combinados de múltiples contaminantes y estresores (extracción, cambio climático), lo que limita la capacidad de evaluar el riesgo real y diseñar políticas efectivas.
- **Riesgos para la Salud Pública:** La exposición humana crónica a metales está documentada en comunidades costeras como Chañaral, con concentraciones detectables en polvo urbano y orina, particularmente en niños y niñas, marcada por una ausencia de monitoreo ambiental y epidemiológico sistemático para gestionar el riesgo sanitario asociado (Cortés et al., 2025).

2.4.5. Recomendaciones

1. **Fortalecer la Investigación y el Monitoreo:** Implementar programas de monitoreo sistemático para contaminantes emergentes (fármacos, aditivos de plásticos, químicos de la desalación) y los efectos sinérgicos, cerrando las brechas de conocimiento identificadas para informar una toma de decisiones basada en evidencia.
2. **Desarrollar una Regulación Proactiva para la Desalación:** Establecer un marco normativo robusto para la industria de la desalación *antes* de que los impactos sean irreversibles, basándose en la evidencia internacional sobre el manejo de salmueras y la evaluación de impacto ambiental acumulativo.
3. **Implementar Planes de Remediación para Zonas de Sacrificio Históricas:** Diseñar e invertir en estrategias a largo plazo para mitigar el impacto de la contaminación histórica por metales pesados y relaves mineros en bahías como Quintero y Chañaral, integrando el monitoreo de salud pública como un componente central para proteger a las comunidades expuestas.
4. **Establecer un Manejo Ecosistémico de Recursos Bentónicos:** Integrar los efectos del cambio climático y la contaminación en los planes de manejo de recursos clave como los bosques de macroalgas, estableciendo cuotas de extracción precautorias basadas en proyecciones científicas para asegurar su persistencia y la de los servicios ecosistémicos que sustentan las economías locales.

Cómo citar esta sección:

Molina, V., & Rodríguez-Rojas, F. (2026). Presiones Antropogénicas: Contaminación, Sobreexplotación de Recursos y Efectos en Sistemas Socioecológicos Costeros y Marinos. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



3 Vulnerabilidades y riesgos socioecológicos

3.1. Impactos en ecosistemas marinos, costeros y terrestres

Este apartado se basa en los aportes de:

Autores:
- Cristián E. Hernández, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad San Sebastián.
- Sonia Yáñez, Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Talcahuano; Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad San Sebastián.

Colaboradores:
- Joaquín Cárcamo, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.
- Nicolás Espinoza, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

Los ecosistemas de Chile enfrentan una creciente presión derivada de la interacción sinérgica entre el cambio climático y la alteración antropogénica. Comprender la magnitud de estos impactos es una necesidad estratégica para garantizar la seguridad ecológica y la estabilidad económica del país, afectando directamente a sectores clave como la pesca, la acuicultura y la agricultura. La evidencia científica confirma una alteración profunda de los patrones biogeográficos y una degradación acelerada de ecosistemas fundamentales, evidenciada por la existencia de 69 especies marinas y costeras amenazadas que demandan una acción urgente (10 en peligro crítico, 22 en peligro y 37 vulnerables) (IUCN, 2025; Comité Científico COP25, 2019b; MMA, 2024a).

3.1.1. Redistribución de Especies

El cambio climático está forzando una reorganización de la biodiversidad a lo largo del territorio nacional, con consecuencias directas para los sectores productivos y la resiliencia de los ecosistemas.

- **Ecosistemas Marinos y Costeros:** El calentamiento y la acidificación del océano están provocando desplazamientos evidentes en especies de alto valor comercial. Este fenómeno es impulsado por cambios oceanográficos a gran escala, como el desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur y la intensificación de la surgencia costera, que alteran la productividad del ecosistema. Recursos pelágicos clave como el jurel (*Trachurus murphyi*), la anchoveta (*Engraulis ringens*), la sardina común (*Strangomera bentincki*) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) se están desplazando hacia latitudes más altas (hacia el sur) y hacia mayores profundidades. Esta redistribución modifica drásticamente las oportunidades y la rentabilidad de la pesca industrial y artesanal (Feng et al., 2022; Comité Científico COP25, 2019b), generando incertidumbre económica en las comunidades costeras.
- **Ecosistemas Terrestres:** En los ecosistemas de montaña, se observa un claro desplazamiento altitudinal de la flora y fauna, con especies altoandinas ascendiendo entre 100 y 300 metros en las últimas décadas para encontrar condiciones climáticas adecuadas (Comité Científico COP25, 2019a; MMA, 2024c). Simultáneamente, la zona central del país experimenta una severa degradación de sus hábitats, como los bosques esclerófilos, debido al estrés hídrico y a la expansión agrícola (Cueto et al., 2025), además del avance de la desertificación, lo que reduce la conectividad ecológica y amenaza la supervivencia de especies endémicas.

3.1.2. Salud de Ecosistemas Clave

Más allá de la redistribución de especies, se constata un deterioro estructural y funcional en ecosistemas estratégicos que proveen servicios esenciales para la sociedad.

- **Bosques de Macroalgas:** Estos ecosistemas, vitales como sumideros de carbono y refugios de biodiversidad, han disminuido significativamente su cobertura debido a la sobreexplotación, la contaminación costera y al calentamiento del mar (Yáñez et al., 2017). Esta degradación representa una doble amenaza económica: la pérdida de un recurso fundamental para la industria de algas y el colapso de las pesquerías locales que dependen de estos hábitats como zonas de crianza.
- **Humedales Costeros:** Un análisis de 757 humedales costeros revela su alta vulnerabilidad frente a la elevación del nivel del mar, la alteración hidrológica y la expansión urbana con un riesgo inminente de pérdida de superficie, salinización y fragmentación (Hidalgo-Corrotea et al., 2023).
- **Ecosistemas Terrestres:** La zona mediterránea central, un reconocido *hotspot* de biodiversidad mundial, sufre una degradación acelerada que se manifiesta de forma diferenciada: una fuerte pérdida de productividad en el norte, el reemplazo por cultivos en la zona central y una severa afectación por sequías y plantaciones exóticas en el sur. A su vez, los bosques patagónicos, cruciales reservorios de carbono, se ven amenazados por cambios en los patrones de precipitación, deshielo y la expansión de actividades productivas (Rozzi et al., 2023).
- **Riesgos en la Acuicultura:** La expansión de la acuicultura, particularmente de la salmonicultura industrial en la Patagonia, genera un conflicto directo con los objetivos de conservación. La operación de centros de cultivo en las proximidades o dentro de Áreas Marinas Protegidas (AMP) incrementa los factores de estrés sobre ecosistemas vulnerables, lo que subraya la necesidad de una planificación espacial marina que equilibre el desarrollo con la conservación (Comité Científico COP25, 2019c; van Leeuwen et al., 2021; Castilla et al., 2023; Rozzi et al., 2023; R. Rivera et al., 2023, 2024).

La degradación de estos ecosistemas no es un problema aislado; su pérdida de resiliencia compromete directamente la provisión de servicios esenciales, impactando la economía y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

3.1.3. Perspectiva Ecosistémica y Socioambiental Integrada

Una gestión territorial efectiva frente a la crisis climática exige adoptar un enfoque ecosistémico, el cual reconoce la profunda interdependencia entre la salud de los sistemas naturales y el bienestar de las comunidades humanas. Los impactos ecológicos no ocurren en el vacío; se entrelazan con dinámicas sociales, económicas y culturales que deben ser gestionadas de manera integrada.

- **Justicia Socioambiental:** Los impactos del cambio climático se distribuyen de forma desigual. Las comunidades costeras, los pescadores artesanales y los pueblos originarios, cuya subsistencia y cultura dependen directamente de la salud de los ecosistemas, son desproporcionadamente vulnerables a su degradación. Al mismo tiempo, suelen contar con una menor capacidad de respuesta. Por ello, cualquier estrategia de adaptación debe incorporar principios de equidad, garantizando una participación efectiva y un acceso justo a los beneficios de la conservación (Castilla et al., 2023; Rozzi et al., 2023).
- **Vacíos de Conocimiento:** Un análisis de la producción científica revela vacíos críticos que limitan una gestión integrada. El principal déficit no es la cantidad de estudios, sino la falta de investigación sobre los efectos combinados de múltiples factores de estrés, como la interacción entre acidificación, calentamiento y sobreexplotación. Asimismo, persiste una débil integración entre la investigación de ecosistemas marinos y terrestres, lo que dificulta comprender las conexiones funcionales en zonas de transición críticas como las costas (Rozzi et al., 2023). Superar estos límites disciplinares es crucial para construir una base de evidencia completa que fundamente políticas públicas robustas.

La consolidación de esta evidencia dispersa en un diagnóstico coherente es fundamental para orientar la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas basadas en ciencia.

3.1.4. Síntesis de Evidencias Clave para Chile

El análisis de la evidencia científica disponible permite identificar cinco patrones consistentes de vulnerabilidad que definen el panorama socioecológico actual de Chile y que demandan una acción política coordinada y urgente.

- **Cambio en la Distribución de Especies:** Se confirma un desplazamiento sistemático de la biodiversidad. En el mar, las especies se mueven hacia el sur y a mayores profundidades en respuesta a variaciones térmicas y de oxigenación. En tierra, se observan desplazamientos altitudinales en la cordillera y una pérdida de conectividad en los hábitats de la zona central.
- **Degradación de Ecosistemas Clave:** Ecosistemas fundamentales como los bosques de macroalgas, los humedales costeros y los bosques esclerófilos y templados muestran una pérdida visible de estructura y funcionalidad, acelerada por la combinación de presiones humanas y climáticas.
- **Riesgos Acumulativos y Combinados:** La vulnerabilidad se magnifica en zonas donde convergen los impactos combinados de contaminación, minería, sobreexplotación y calentamiento. Las zonas áridas del norte y las costas industrializadas del centro son ejemplos críticos de esta sinergia de amenazas.
- **Desigualdad Socioambiental:** Los impactos ecológicos recaen de manera desproporcionada sobre las comunidades con menor capacidad de adaptación, lo que agrava las desigualdades existentes y evidencia la necesidad de incorporar un enfoque de equidad y justicia en las políticas de adaptación.
- **Potencial de Resiliencia y Refugios Climáticos:** A pesar de las amenazas, existen oportunidades. Ecosistemas bien conservados, como los de la Patagonia y las Áreas Marinas Protegidas, tienen el potencial de actuar como refugios climáticos. Su eficacia dependerá de garantizar su conectividad y de implementar un manejo adaptativo y proactivo.

3.1.5. Recomendaciones

1. **Fortalecer el Monitoreo Integrado de Ecosistemas:** Consolidar una red nacional de observación oceánica, costera y terrestre que integre datos de instituciones científicas y de actores locales. Esto permitirá detectar cambios a tiempo y fundamentar un manejo adaptativo de los recursos naturales.
2. **Actualizar la Planificación Territorial con Enfoque Climático:** Incorporar escenarios de cambio climático y de redistribución de especies en los instrumentos de ordenamiento territorial, tanto marinos como terrestres. El objetivo es asegurar la conectividad ecológica entre áreas protegidas y zonas productivas.
3. **Promover la Equidad en las Estrategias de Adaptación:** Diseñar e implementar mecanismos de apoyo específicos para las comunidades más vulnerables, como la pesca artesanal y los pueblos originarios. Esto incluye financiamiento, fortalecimiento de capacidades y una participación vinculante en la toma de decisiones.
4. **Priorizar Soluciones Basadas en la Naturaleza:** Invertir en la protección y restauración activa de ecosistemas clave como bosques de macroalgas, humedales y bosques nativos. Estas acciones no solo protegen la biodiversidad, sino que también actúan como medidas costo-efectivas de mitigación y adaptación al cambio climático.
5. **Reforzar la Coordinación Intersectorial:** Asegurar la coherencia entre las políticas de biodiversidad, cambio climático y desarrollo productivo. Es fundamental que los ministerios competentes trabajen de forma coordinada para evitar objetivos contrapuestos y maximizar las sinergias.
6. **Integrar Enfoques de Economía Verde y Azul:** Promover modelos de desarrollo que valoren y conserven el capital natural como base de la prosperidad económica. Esto implica orientar la gobernanza ambiental hacia la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas marinos y terrestres.

Cómo citar esta sección:

Hernández, C. E., Yáñez, S., Cárcamo, J., & Espinoza, N. (2026). *Impactos en Ecosistemas Marinos, Costeros y Terrestres*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Síntesis de talleres regionales con la comunidad científica

Recuadro 2. Desconexiones y prioridades territoriales para la adaptación de la biodiversidad costera frente a cambios oceanográficos

Los aportes coincidieron en reconocer la interacción de los procesos oceanográficos (como el aumento de temperatura, la acidificación y los episodios de hipoxia) y la biodiversidad como motor de cambios en la redistribución de especies y uso de los hábitats. También hubo consenso sobre la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo integrado que consideren variables fisicoquímicas y biológicas, así como escenarios climáticos para orientar de manera efectiva la planificación territorial y las medidas de conservación.

En la zona de Valparaíso, la preocupación se centró en los efectos concretos de la redistribución de especies y los cambios en el uso de hábitats sobre las actividades humanas. Se enfatizó la necesidad de integrar monitoreos oceanográficos y evaluación continua de la evolución de los hábitats para sostener la pesca y una gestión costera adaptativa. En el extremo austral (Punta Arenas), el foco estuvo en los riesgos emergentes vinculados a la microbiota y la salud poblacional de especies clave (como la centolla, los pingüinos y las ballenas). Esta realidad demanda vigilancia específica de la salud ecológica ante la creciente frecuencia de los eventos extremos.

Los talleres evidencian vacíos técnicos y operativos que limitan la capacidad de respuesta. Entre ellos, destacan la falta de integración entre los datos oceanográficos y biológicos, una vigilancia microbiológica limitada en especies clave, y la escasa interoperabilidad y apertura de datos, lo que dificulta su uso para la planificación a nivel local. En conjunto, se consolidó la idea de que las herramientas de monitoreo y gestión ya existentes requieren articulación y ampliación para ser verdaderamente útiles en la toma de decisiones territoriales.

Orientaciones para la toma de decisiones:

- Se propone incorporar explícitamente la movilidad biológica y la evolución proyectada de los hábitats en los procesos de planificación territorial y en la gestión de las áreas marinas protegidas.
- Se recomienda diseñar medidas de conservación y restauración que preserven la conectividad ecológica en la interfaz terrestre-marina, enfatizando los contextos y dinámicas locales.
- Se propone fomentar la articulación interinstitucional (municipios, servicios regionales y centros de investigación) para traducir evidencia científica local en medidas de gobernanza y planificación territorial.

3.2. Vulnerabilidad socio cultural y cambio climático en comunidades costeras

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Mabel Alarcón Rodríguez, Departamento de Urbanismo, Universidad de Concepción.

Colaboradores:
- Violeta Montero Barriga, Centro de Estudios CREASUR, Universidad de Concepción.
- Alejandro Lara San Martín, Departamento de Arquitectura, Universidad de Concepción.
- Juan Munizaga, Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

La extensa costa de Chile, con más de 4.300 kilómetros de longitud, se encuentra en un punto de inflexión crítico. La creciente urbanización, una profunda dependencia económica de los recursos marinos y los impactos acelerados del cambio climático convergen en un desafío estratégico de alcance nacional. Las comunidades que habitan el borde litoral, desde caletas pesqueras hasta centros urbanos, enfrentan una presión sin precedentes que amenaza no solo su subsistencia económica, sino también su identidad cultural y su bienestar.

3.2.1. Configuración Territorial y Presiones Socioeconómicas

Para diseñar una política de resiliencia eficaz, es fundamental comprender la configuración demográfica, productiva y estructural de las comunidades costeras. Estas características preexistentes son las que determinan las raíces de su vulnerabilidad, mucho antes de que se manifiesten los impactos directos del cambio climático. Identificar estas presiones estructurales permite enfocar la acción pública no solo en los síntomas, sino en las causas subyacentes.

Los principales factores de presión y vulnerabilidad estructural son:

- **Crecimiento en Zonas de Riesgo:** La población que habita el borde litoral alcanza actualmente, los 214,9 mil habitantes que se ubican en zona de riesgo, es decir, bajo los 10 metros sobre el nivel del mar (Morales & Winckler, 2020) con proyecciones que elevan esta cifra a 330 mil para el año 2100, en un escenario donde la población nacional podría alcanzar los 30 millones de habitantes, lo que evidencia una concentración del crecimiento en las áreas de mayor exposición, incrementando la presión sobre ecosistemas marinos, infraestructuras críticas y usos del borde costero (CIESIN, 2013).
- **Matriz Productiva y Conflictos de Uso:** La economía costera depende de manera crítica del sector primario, como la recolección de moluscos, la pesca artesanal e industrial, la acuicultura, la actividad portuaria y, en menor medida, la agricultura (Barceló et al., 2025). La pesca artesanal (que involucra a unos 92 mil pescadores en 450 caletas) refleja una gran diversidad de extracción y métodos según la zona (Guerrero & Alarcón, 2025). Sin embargo, la asignación de derechos de uso en las últimas décadas ha favorecido a la industria, generando una fuerte presión sobre los ecosistemas y debilitando la pesca artesanal. Un indicador clave de esta tendencia es el crecimiento de la industria acuícola en el sur de Chile, que ha aumentado en un 800% desde 1990 y el debilitamiento sostenido de la pesca artesanal (Anbleyth-Evans et al., 2020).
- **Precariedad y Exclusión:** Muchas comunidades costeras enfrentan condiciones estructurales de precariedad, que incluyen deficiencias en servicios básicos, bajos estándares de habitabilidad y una escasa integración en los instrumentos de planificación territorial. A esto se suma la competencia por el uso del suelo, impulsada por la expansión urbana, la intensificación del turismo y los procesos de gentrificación (Guerrero & Alarcón, 2025).

A pesar de este complejo escenario, existen oportunidades institucionales que marcan un camino a seguir. Iniciativas como las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) demuestran ser herramientas clave para la gestión sostenible y el resguardo de usos tradicionales. Aunque insuficientes por sí solas, estas figuras han contribuido a diversificar ingresos y fortalecer las capacidades locales, sentando las bases para una mayor resiliencia frente al cambio climático (Carrasco-Bahamonde, 2022).

3.2.2. Impactos Directos del Cambio Climático en Sectores Productivos

El cambio climático no es un problema ambiental abstracto para las comunidades costeras; es una amenaza directa y tangible a su subsistencia económica y a la viabilidad de los sectores productivos que las sustentan. La alta dependencia de los ecosistemas marinos y litorales hace que estas comunidades sean particularmente susceptibles a las alteraciones físicas y biológicas que ya se están manifestando.

Los efectos concretos del cambio climático sobre las actividades productivas son evidentes y, en algunos casos, cuantificables:

- **Amenazas Físicas:** Los principales peligros climáticos que afectan directamente a la costa chilena incluyen inundaciones, erosión, la creciente intensidad de las marejadas, el aumento del nivel del mar y la alteración de ecosistemas clave. Un ejemplo preocupante es la situación de los humedales costeros, de los cuales el 37,4% se encuentra vulnerable al cambio climático, poniendo en riesgo recursos esenciales para la pesca, la acuicultura y la agricultura (Hidalgo-Corrotea et al., 2023).
- **Impacto en la Pesca:** Las condiciones ambientales adversas están afectando la operatividad del sector pesquero. El concepto de *downtime* -período en que las faenas no pueden operar- ha aumentado en un 23% entre los 19°S y los 34°S (Comité Científico COP25, 2019d). A nivel de comunidades rurales, el impacto ha sido aún más severo, con una disminución de la actividad pesquera de hasta un 50%, forzando una diversificación hacia actividades terrestres (Barceló et al., 2025).
- **Brechas de Conocimiento:** Persisten vacíos de investigación que limitan la capacidad de adaptación. Por ejemplo, la falta de estudios sobre las consecuencias del cambio climático en la acuicultura de mejillones (choritos) dificulta el diseño de estrategias de mitigación y adaptación para este importante subsector (Baquedano et al., 2025).

Para enfrentar estos desafíos, las estrategias de adaptación recomendadas deben superar el enfoque sectorial. Medidas como la diversificación productiva, la adopción de prácticas agroecológicas y el uso de ciencia climática son fundamentales. Sin embargo, la solución de fondo requiere un enfoque de gobernanza multinivel que integre el conocimiento científico con el conocimiento local y garantice la participación activa de las comunidades (OECD, 2020; IPCC, 2022).

3.2.3. Vulnerabilidad Sociocultural: Un Desafío Multidimensional

Un análisis integral de la resiliencia costera debe superar los enfoques puramente físicos o económicos. La vulnerabilidad real de una comunidad no se mide solo por la altura de una marejada, sino por cómo las desigualdades sociales, la identidad cultural y la capacidad de organización colectiva determinan la magnitud del impacto de dicha amenaza. Abordar la vulnerabilidad sociocultural es, por tanto, un pilar central para cualquier política de adaptación efectiva.

Los componentes clave de la vulnerabilidad sociocultural se pueden desglosar de la siguiente manera:

- **Exposición Ambiental:** Se refiere a la afectación directa de las comunidades frente a variaciones climáticas significativas, eventos climáticos extremos (Shahin et al., 2025) y por peligros físicos y biológicos que impactan los ecosistemas y asentamientos humanos. La política pública no solo debe mitigar el peligro con infraestructura, sino también reducir la exposición de los asentamientos a través de una mejor planificación territorial.

- **Sensibilidad Sociocultural:** Describe los factores que determinan la gravedad con que un grupo se ve afectado (Johnson et al., 2023). La política pública no solo debe mitigar el peligro con infraestructura, sino también reducir la exposición de los asentamientos a través de una mejor planificación territorial e incorporar contexto social e identidad cultural en el análisis de vulnerabilidad de las comunidades.
- **Capacidad Adaptativa sociocultural:** Es la habilidad de una comunidad para ajustarse, responder y reducir el daño frente a desafíos o cambios (Johnson et al., 2023; Parra & Jensen, 2025). Fortalecer esta capacidad implica reducir las desigualdades que limitan las opciones de las personas y potenciar la resiliencia comunitaria, apoyando la solidaridad, la cooperación y el conocimiento ancestral como activos estratégicos (Parra & Jensen, 2025).

Estos componentes no actúan de forma aislada. La vulnerabilidad es un fenómeno dinámico que emerge de la interacción de estos factores a través de múltiples escalas temporales y geográficas. Un análisis estático es insuficiente; la política pública debe reconocer que las estrategias de adaptación a corto plazo pueden, inadvertidamente, aumentar la vulnerabilidad a largo plazo (Jozaei et al., 2022). Por tanto, es imperativo adoptar un enfoque que gestione esta complejidad para evitar la maladaptación y construir resiliencia duradera.

Para orientar la acción pública, es crucial distinguir entre vulnerabilidad y riesgo. La vulnerabilidad se refiere a las características y condiciones de un sistema social o socioecológico que determinan su susceptibilidad y capacidad para afrontar impactos adversos, las que incluyen exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Johnson et al., 2023; Shahin et al., 2025; Jozaei et al., 2022). El riesgo, en cambio, es el resultado de la interacción entre un peligro (ej. una marejada), la exposición (una comunidad en la costa) y la vulnerabilidad de esa comunidad. Por lo tanto, una política pública eficaz no puede limitarse a construir defensas contra los peligros; debe, fundamentalmente, enfocarse en reducir las causas raíz de la vulnerabilidad para disminuir el riesgo de manera sostenible.

3.2.4. El Caso de los Pueblos Originarios Costeros

La vulnerabilidad de los pueblos originarios costeros es la manifestación contemporánea de procesos históricos de colonización, exclusión y despojo de sus territorios y recursos ancestrales, un fenómeno que ha sido denominado el "despojo del mar". El cambio climático actúa como un multiplicador de estas injusticias históricas, intensificando una vulnerabilidad ya existente.

Los factores específicos que agravan la vulnerabilidad de estas comunidades incluyen:

- **Presiones Históricas y Sistémicas:** La colonización, la discriminación estructural y la desvalorización sistémica del Conocimiento Indígena y Local (ILK) han erosionado su capacidad de adaptación y resiliencia (Rivers et al., 2023; Loch & Riechers, 2021), limitando su autonomía y el reconocimiento de sus sistemas de gestión territorial.
- **Modelo de Desarrollo Neoextractivista:** El modelo económico actual, que promueve el uso intensivo de recursos a través de la salmonicultura y la pesca industrial, junto con la privatización de los espacios marinos, amenaza directamente su acceso a recursos que son esenciales no solo para su subsistencia material, sino también para su continuidad cultural (Araos et al., 2020).
- **Dimensión Ética y Cultural:** La crisis climática y la degradación de los ecosistemas marinos representan una amenaza directa a su cosmovisión. Conceptos como el ***Küme Mogen*** ("vivir bien") del pueblo Mapuche-Williche, que expresa una ética de convivencia entre seres humanos y no humanos, están en riesgo, afectando su identidad y su relación con el territorio (Anbleyth-Evans et al., 2025).

La recomendación central de política pública que se deriva de este análisis es el empoderamiento genuino de las comunidades indígenas. Esto debe traducirse en acciones concretas que les otorguen la autoridad y los recursos para ser los gestores de sus territorios marinos, valorizando su conocimiento local (Rivers et al., 2023) e incentivando su liderazgo en la toma de decisiones sobre proyectos extractivos y la implementación de sus propios planes de conservación biocultural.

Por ende, abordar la vulnerabilidad histórica de los pueblos originarios no es un tema aparte, sino el eje central para desmontar las vulnerabilidades estructurales diagnosticadas al inicio y construir una resiliencia justa y sostenible para toda la costa chilena.

3.2.5. Recomendaciones

El análisis presentado evidencia la necesidad de un cambio de paradigma. Chile debe transitar desde respuestas reactivas y fragmentadas hacia una política pública proactiva, integrada y con un enfoque de justicia socio-ambiental. Esto requiere una acción coordinada del Estado que aborde las causas estructurales de la vulnerabilidad y empodere a las comunidades como agentes centrales de su propia adaptación.

1. **Establecer una Gobernanza Integrada y Multinivel:** Implementar un marco de gobernanza costera integrada que unifique la planificación territorial, la gestión de cuencas y la adaptación climática, reconociendo explícitamente la interdependencia entre el bienestar humano y la salud de los ecosistemas marinos.
2. **Reducir la Vulnerabilidad Socioeconómica Estructural:** Implementar una política de ordenamiento territorial vinculante que restrinja nuevos asentamientos en zonas de alto riesgo y financie la adaptación de la infraestructura y vivienda en las comunidades ya expuestas, abordando directamente sus condiciones de precariedad.
3. **Empoderar a las Comunidades Locales e Indígenas:** Fortalecer y dotar de financiamiento adecuado a instrumentos como los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) y las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), garantizando su autoridad real en la toma de decisiones y la integración formal del conocimiento local e indígena en la planificación del territorio marino-costero.
4. **Fomentar la Adaptación de los Sectores Productivos:** Diseñar e implementar programas de fomento productivo que financien la diversificación económica y la transición hacia prácticas resilientes en la pesca artesanal y la acuicultura de pequeña escala, condicionando el apoyo a la integración de ciencia climática y conocimiento local.

Cómo citar esta sección:

Alarcón Rodríguez, M., Montero Barriga, V., Lara San Martín, A., & Munizaga, J. (2026). *Vulnerabilidad Sociocultural y Cambio Climático en Comunidades Costeras*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos–Clima–Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile - Compilado de Contribuciones*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Síntesis de talleres regionales con la comunidad científica

Recuadro 3. Brechas y oportunidades para la adaptación del borde costero: gobernanza, manejo y saberes locales.

Los talleres regionales combinaron observaciones sobre la erosión, pérdida de playas y humedales, los impactos en pesquerías bajo régimen de co-manejo, y demandas por participación indígena e intercultural efectiva, ofreciendo pistas operativas para orientar una adaptación integrada.

Los aportes coincidieron en señalar la alta vulnerabilidad del borde costero frente a presiones antrópicas y climáticas, manifestada en el retroceso litoral, la pérdida de playas y humedales, y la afectación directa de actividades económicas como la pesca artesanal y el turismo. Asimismo, se destacó la necesidad de implementar enfoques de gestión integrada que articulen la planificación territorial, el monitoreo técnico y una gobernanza multinivel, con participación vinculante de las comunidades locales y pueblos originarios, para reducir la exposición y la sensibilidad de estos territorios.

En Valparaíso destacaron preocupaciones por la erosión, la pérdida de playas y la interacción entre las prácticas de manejo costero (incluyendo las AMERBs) y el aumento de la vulnerabilidad de los medios de vida y el turismo. En Concepción, la atención se orientó hacia la incorporación del conocimiento indígena y local para la adecuación de medidas adaptativas pertinentes en ecosistemas frágiles, emergiendo propuestas para integrar la dimensión intercultural en la gestión (por ejemplo, a través de los ECMPO).

Los participantes también discutieron cómo los cambios oceanográficos y la redistribución de especies están afectando el uso de los hábitats costeros y, por ende, la productividad pesquera. También se identificó la necesidad técnica de evaluar la evolución climática específica en las zonas de co-manejo, particularmente en áreas dedicadas a algas y AMERBs. Si bien reconocieron que existen capacidades instaladas en monitoreo oceanográfico y estudios de biodiversidad, se evidenció un vacío en la integración de esa evidencia con la gestión local y la planificación territorial.

Orientaciones para la toma de decisiones:

- Se sugiere priorizar la integración del monitoreo climático-oceanográfico con la gestión de las AMERBs y pesquerías artesanales, para orientar el diseño de medidas adaptativas específicas y contextualizadas.
- Se recomienda consolidar mecanismos de participación que aseguren la incorporación de los saberes indígenas y locales en los procesos de co-gestión, planificación territorial y vigilancia ambiental.
- Se propone evaluar y mitigar los impactos de las prácticas de manejo costero sobre la erosión y la dinámica de sedimentos, e integrar estos resultados en los instrumentos de ordenamiento y gestión del riesgo.
- Se propone avanzar en la interoperabilidad de los datos ambientales, socioeconómicos y territoriales, con el fin de facilitar decisiones basadas en evidencia y permitir el escalamiento de soluciones locales exitosas.
- Se recomienda integrar la dimensión intercultural en el diseño de políticas de adaptación, como vía para reducir las vulnerabilidades diferenciadas que afectan a las comunidades costeras.

3.3. Riesgos compuestos y tipping points

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:
- Cristian Martinez-Villalobos, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez; Fundación Data Observatory.
- Carolina Martínez, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile; Centro UC Observatorio de la Costa.

Colaboradores:
- Pablo López, Faculty of Engineering, University of Bristol, Reino Unido.
- Leandra Loyola, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez.
- Matías Valenzuela, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

3.3.1. El Desafío Emergente de los Riesgos Compuestos

La seguridad y resiliencia de Chile dependen cada vez más de nuestra capacidad para comprender y gestionar los riesgos socioecológicos desde una perspectiva sistémica. En un contexto de cambio climático acelerado, las evaluaciones de amenazas aisladas resultan insuficientes para capturar la complejidad de las crisis emergentes. El enfoque en riesgos compuestos se vuelve, por tanto, una herramienta estratégica fundamental, ya que permite analizar cómo la interacción de múltiples factores climáticos, ambientales y sociales amplifica los impactos y genera vulnerabilidades en cascada que desafían las estructuras de gobernanza tradicionales.

Los riesgos compuestos se definen como situaciones donde dos o más amenazas climáticas o ambientales actúan de forma simultánea o en rápida sucesión sobre un sistema socioecológico, generando impactos combinados que superan la suma de los efectos individuales (Hoegh-Guldberg et al., 2018; Pescaroli & Alexander, 2018; Zscheischler et al., 2018), lo que trae consigo consecuencias sistémicas, no lineales y en cascada. La interacción de estos factores puede empujar a los sistemas socioecológicos más allá de umbrales críticos o *tipping points*, provocando transformaciones ecosistémicas potencialmente irreversibles (Wunderling et al., 2024).

En Chile, la investigación sobre este fenómeno es aún incipiente y se ha concentrado principalmente en estudios de caso, careciendo de una sistematización de mecanismos y patrones emergentes (Simpson et al., 2023). No obstante, la evidencia disponible permite identificar interacciones clave con un alto potencial destructivo:

- **Dinámica Terrestre:** La combinación de sequías prolongadas con olas de calor ha demostrado incrementar drásticamente la probabilidad de mega incendios forestales (Cordero et al., 2024; González-Reyes et al., 2023). Esta sinergia sobrepasa la capacidad de resistencia de los ecosistemas terrestres, creando condiciones de alta combustibilidad.
- **Dinámica Marina:** La co-ocurrencia de olas de calor marinas -intensificadas por eventos como El Niño- y presiones antrópicas (como la acuicultura intensiva) puede sobrepasar umbrales ecológicos críticos, desencadenando floraciones algales nocivas (FAN) y colapsos de ecosistemas marinos (Díaz & Álvarez, 2023).

Estos ejemplos teóricos se materializan en crisis socioecológicas reales, demostrando la urgencia de analizar sus manifestaciones concretas en la interfaz tierra-océano para informar el diseño de políticas públicas más efectivas.

3.3.2. Evidencia Territorial: Casos de Estudio Paradigmáticos

Los siguientes casos de estudio no deben ser vistos como eventos aislados, sino como manifestaciones concretas de vulnerabilidades sistémicas en la interfaz océano-tierra-sociedad. Su análisis es crucial porque revelan cómo la interacción de

múltiples factores -climáticos, ecológicos y socioeconómicos- culmina en desastres de gran magnitud, ofreciendo lecciones vitales para el diseño de políticas públicas preventivas y adaptativas.

3.3.2.1. Incendios en la Interfaz Urbano-Forestal: Viña del Mar (2024)

El mega incendio de Viña del Mar en febrero de 2024 es un caso paradigmático de riesgo compuesto. La catástrofe fue el resultado de la interacción simultánea de una sequía prolongada, una ola de calor extrema, vientos intensos, la topografía local y una planificación urbana deficiente que permitió la expansión descontrolada de asentamientos en zonas de alta peligrosidad. Este evento no solo tuvo un impacto devastador inmediato (135 fallecidos), sino que generó **i**mpactos en cascada tangibles: la pérdida de cobertura vegetal aumentó drásticamente la susceptibilidad a riesgos secundarios como remociones en masa, erosión e inundaciones (Martínez et al., 2024). Un informe de CIGIDEN mostró que las áreas con alta susceptibilidad a remociones en masa aumentaron de 2.893 ha a 3.182 ha (un 6,8% de la superficie de la cuenca). Además, la liberación masiva de aerosoles por la combustión permite el transporte de nutrientes clave como hierro y fósforo hacia el océano, con el potencial de desencadenar floraciones fitoplanctónicas anómalas y alterar los flujos de carbono océano-atmósfera (Hamilton et al., 2022; Tang et al., 2021) un ámbito que hasta ahora ha sido escasamente abordado en el contexto chileno. Esto evidencia un ciclo de retroalimentación crítica, donde no solo los eventos terrestres impactan el océano, sino que las dinámicas oceánicas (como El Niño y las olas de calor marinas) modulan directamente las condiciones atmosféricas que exacerban el riesgo de incendios en el continente.

3.3.2.2. Crisis Socioecológica Marina: Chiloé (2016)

La crisis de Chiloé en verano 2016 ejemplifica la convergencia de forzantes climáticos y decisiones de gestión humana. El desastre se manifestó en dos pulsos sucesivos de floraciones algales nocivas (FAN). El primer pulso, dominado por la microalga *Pseudochattonella*, fue catalizado por un intenso evento de El Niño que generó anomalías de temperatura y alta radiación solar. Esta floración provocó una mortalidad masiva de salmones (12% de la producción nacional) (León-Muñoz et al., 2018) y pérdidas económicas estimadas en 800 millones de USD (Díaz & Álvarez, 2023). Semanas después, un segundo pulso, esta vez de la especie *Alexandrium catenella*, afectó directamente la costa de Chiloé. Su proliferación, aún bajo investigación, ha sido vinculada al vertimiento de aproximadamente 4.700 toneladas de salmones en descomposición en el mar (Armijo et al., 2020), ilustrando cómo las respuestas de gestión pueden exacerbar una crisis climática inicial.

3.3.2.3. Olas de Calor Marinas: Una Amenaza Estructural Creciente

Las Olas de Calor Marinas (MHWs, por su sigla en inglés; Capotondi et al., 2024; Hobday et al., 2016) son una de las manifestaciones más directas y estructurales del calentamiento global en la costa chilena. Su frecuencia y duración han aumentado de forma abrupta desde 2012 (Pujol et al., 2022), frente a las costas de Chile centro-sur y en la Patagonia norte, donde durante 2016-2017 se registraron condiciones cálidas continuas por cerca de 300 días. Estos eventos configuran un riesgo compuesto de alta relevancia, ya que sus impactos se propagan en cascada, provocando colapsos de bosques de macroalgas, blanqueamiento coralino, proliferación de especies oportunistas y la pérdida de hábitats estructurales que son fundamentales para la biodiversidad. El riesgo se amplifica drásticamente cuando las MHWs co-ocurren con otros estresores como la desoxigenación, las FANs y la acidificación del océano. Esta combinación de factores amenaza la viabilidad de la pesca artesanal, la acuicultura y la seguridad alimentaria de las comunidades costeras chilenas y patagónicas, cuya subsistencia depende directamente de la salud de los ecosistemas marinos.

Estos casos demuestran la interdependencia crítica entre los sistemas marinos, terrestres y sociales, lo que exige un cambio fundamental en el enfoque de la política pública, transitando de la gestión de emergencias a la gobernanza integral del riesgo.

3.3.3. Recomendaciones

El análisis de los riesgos compuestos en Chile obliga a una reflexión estratégica sobre nuestro actual modelo de gestión de desastres. Los desafíos identificados demandan una evolución

desde una aproximación reactiva y sectorial hacia una gobernanza del riesgo que sea proactiva, integrada y con una sólida base científica, capaz de anticipar y mitigar los impactos en cascada antes de que se conviertan en crisis de gran escala.

El principal desafío para la política pública es transitar desde una evaluación de amenazas individuales hacia un enfoque multiamenaza e integrado. Actualmente, la mayoría de las evaluaciones de riesgo se basan en datos climáticos históricos, sin incorporar adecuadamente proyecciones futuras. Esta metodología es insuficiente para un contexto de incertidumbre creciente y una intensificación de eventos extremos. Para abordar esta brecha y construir una resiliencia adaptativa, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. **Fortalecer los Sistemas de Observación Integrados:** Esto representa la oportunidad de posicionar a Chile como líder regional en monitoreo integrado del riesgo climático. Es fundamental desarrollar y mantener sistemas que observen en tiempo real la interacción entre variables climáticas, ambientales y antrópicas para generar alertas tempranas efectivas y modelos predictivos que capturen la dinámica de los riesgos compuestos.
2. **Mejorar la Planificación Territorial y Marina:** La planificación del uso del suelo y de los espacios marinos debe incorporar explícitamente escenarios de cambio climático. Esto implica regular la expansión urbana en interfaces de riesgo, gestionar de manera sostenible las actividades productivas como la acuicultura y proteger ecosistemas clave que actúan como barreras naturales, anticipando y reduciendo así las vulnerabilidades futuras.
3. **Promover una Gobernanza Intersectorial:** Dado que los riesgos compuestos atraviesan fronteras sectoriales, es imperativo fomentar una colaboración efectiva entre ministerios y agencias, reconociendo el nexo indisoluble océano-clima-biodiversidad como un pilar fundamental para la reducción del riesgo y la adaptación sostenible del país.

Cómo citar esta sección:

Martinez-Villalobos, C., Martínez, C., López, P., Loyola, L., & Valenzuela, M. (2026). *Riesgos Compuestos y Tipping Points*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



4 Soluciones basadas en la naturaleza y mitigación

4.1. Secuestro de carbono en ecosistemas clave (humedales, bosques, praderas marinas, plancton)

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Mariela A. Yevenes, Facultad de Ciencias Ambientales/Centro EULA, Universidad de Concepción.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

Para que Chile cumpla sus metas climáticas, es imperativo ir más allá de las soluciones tecnológicas y movilizar su capital natural. En este contexto, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) -definidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas-, emergen como un pilar estratégico. Estas estrategias no solo buscan aminorar los impactos del cambio climático, sino que también generan beneficios adaptativos cruciales para el bienestar humano y la salud de los ecosistemas (Cohen-Shacham et al., 2016).

4.1.1. Ecosistemas Clave para el Secuestro de Carbono

4.1.1.1. Humedales

Los humedales son ecosistemas de importancia estratégica global para el secuestro de carbono, debido a su saturación de agua, que reduce la disponibilidad de oxígeno y ralentiza la descomposición de la materia orgánica (Collins & Kuehl, 2000), favoreciendo su acumulación en los sedimentos y convirtiéndolos en sumideros de carbono a largo plazo. Su relevancia es desproporcionada a su tamaño: aunque ocupan sólo entre el 5% y el 8% de la superficie terrestre, almacenan entre el 25% y el 30% del carbono global, gracias a su alta productividad primaria neta y las bajas tasas de descomposición en condiciones reductoras (con bajo o sin oxígeno) (Salimi et al., 2021).

En Chile, sin embargo, estos ecosistemas enfrentan una alta vulnerabilidad. Gran parte de los humedales costeros y continentales están severamente fragmentados, han sido drenados para otros usos, o están expuestos a una intensa contaminación por nutrientes (Peña-Cortés et al., 2006). La situación es particularmente crítica para las turberas de la Patagonia, que constituyen el mayor reservorio de carbono terrestre en las zonas templadas del Hemisferio Sur. La degradación de estos ecosistemas, especialmente por la extracción de turba, invierte su función: en lugar de capturar CO_2, el carbono almacenado se oxida y se libera masivamente a la atmósfera, convirtiéndolos en una fuente neta de gases de efecto invernadero (Frolking et al., 2011).

Para revertir esta tendencia y potenciar su rol mitigador, las SbN ofrecen un conjunto de acciones efectivas:

- **Restablecimiento de condiciones anóxicas** para detener la pérdida de carbono almacenado.

- **Revegetación con especies nativas** para aumentar la fijación de carbono a través de la biomasa aérea y las raíces.
- **Implementación de humedales flotantes o restaurados**, que mejoran la calidad del agua y acumulan carbono en los sedimentos.
- **Control de nutrientes** para prevenir la eutrofización, un proceso que puede aumentar las emisiones de otros gases de efecto invernadero como el metano.
- **Considerar la escala del paisaje**, los humedales naturales menores ubicados en cabeceras maximizan la captura de sedimentos (Zhao et al., 2017), mientras que humedales mayores en zonas bajas favorecen la retención de nutrientes y el control de inundaciones (Hao et al., 2025).

4.1.1.2. Bosques

Los bosques son reconocidos como los mayores sumideros biológicos de carbono del planeta, desempeñando un rol insustituible en la captura de CO_2 atmosférico y en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación climática e hídrica.

Los bosques chilenos exhiben una dualidad compleja. Mientras los ecosistemas patagónicos almacenan cantidades excepcionales de carbono, factores como los incendios forestales, las sequías prolongadas y la sustitución de bosque nativo han creado un patrón dinámico donde coexisten áreas que actúan como sumideros y otras que se han convertido en fuentes de carbono. El calentamiento global y la sequía amenazan directamente la capacidad de captura de los bosques de alerce (Perez-Quezada et al., 2024), mientras que los bosques esclerófilos de Chile central, ya altamente degradados, enfrentan una vulnerabilidad extrema que exige acciones urgentes de restauración y conservación, tal como lo enmarca la Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455).

Investigaciones recientes desafían la noción de que un crecimiento acelerado es siempre beneficioso, sugiriendo que puede acortar la longevidad de los árboles. Esto implicaría que el carbono se almacena por períodos más breves, reduciendo el potencial de mitigación a largo plazo y convirtiendo sumideros permanentes en soluciones temporales (Brienen et al., 2020; Büntgen et al., 2019). Este hallazgo subraya la necesidad de priorizar la conservación de bosques maduros y la restauración con una visión de largo plazo.

Las oportunidades de acción se centran en estrategias integrales como la restauración con especies nativas, la gestión sostenible de cuencas hidrográficas y la creación de corredores biológicos (Schneider et al., 2023). Estas acciones no solo potencian la mitigación climática, sino que también fortalecen la resiliencia hídrica de las comunidades y fomentan el desarrollo de empleos verdes, consolidando a los bosques como una infraestructura verde fundamental.

4.1.1.3. Praderas Marinas

Las praderas marinas son ecosistemas de alta productividad y una eficiencia excepcional para regular el ciclo global del carbono. A través de la fotosíntesis, fijan grandes volúmenes de CO_2 y lo secuestran de manera muy estable en los sedimentos anóxicos del fondo marino. Su impacto es notable: aunque cubren menos del 1% de la superficie del océano, se estima que contribuyen con cerca del 10% de su secuestro anual de carbono del océano, conocido también como carbono azul (Fourqurean et al., 2012; Gomis et al., 2025).

Estos ecosistemas enfrentan un doble riesgo. A nivel global, están gravemente amenazados por la actividad humana, y su degradación no solo elimina un sumidero activo, sino que puede liberar las vastas reservas de carbono acumuladas durante siglos.

Se estima que las tasas actuales de pérdida podrían resultar en la liberación de hasta 299 teragramos de carbono al año, suponiendo que todo el carbono orgánico presente en la biomasa y en la capa superficial del sedimento se remineralice (C. M. Duarte et al., 2020). Esta capacidad de secuestro posiciona a las praderas marinas como un componente estratégico a considerar en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs) de Chile.

La restauración de praderas marinas ofrece una oportunidad con múltiples co-beneficios. Además de incrementar la captura de carbono, estas acciones aumentan la biodiversidad marina, estabilizan los sedimentos costeros y reducen la energía del oleaje (Unsworth et al., 2015; C. M. Duarte et al., 2020), funcionando como una alternativa sostenible a la infraestructura gris como los muros de contención en las costas. En Chile ya existen estudios sobre su distribución, estructura y funciones ecológicas, destacando su rol en el soporte de biodiversidad, la estabilización de sedimentos y la regulación de procesos biogeoquímicos en sistemas costeros y estuarinos (C. M. Duarte et al., 2025).

4.1.1.4. Plancton

El fitoplancton marino es el motor de la "bomba biológica de carbono", un proceso natural que transfiere carbono desde la atmósfera hacia el océano profundo. Mediante la fotosíntesis, estos organismos microscópicos capturan CO_2 en la superficie y, al morir, parte de esa materia orgánica se hunde, secuestrando el carbono en las profundidades por largos periodos. Se estima que el océano es responsable de remover aproximadamente el 30% del CO_2 emitido anualmente por actividades humanas (Gruber et al., 2019), un servicio ecosistémico de escala planetaria.

Desde la perspectiva de las SbN, se ha propuesto la surgencia artificial (SA), una técnica de eco-ingeniería que busca estimular el crecimiento del fitoplancton en zonas pobres en nutrientes bombeando aguas profundas ricas en nutrientes hacia la superficie (Jürchott et al., 2023). Si bien tiene un potencial teórico considerable -un modelo estima que podría incrementar la absorción de CO_2 del océano hasta en 1,01 Petagramos de Carbono por año (Pg C año-1)-, esta estrategia es reciente, controversial y aún no ha sido probada a gran escala con resultados concluyentes.

Los desafíos y riesgos asociados son considerables. Existen limitaciones ecológicas y tecnológicas, como la disponibilidad de nutrientes específicos y los riesgos de generar efectos no deseados, como la eutrofización o la acidificación marina (Mackey et al., 2015). Es fundamental realizar más investigación para comprender los posibles impactos negativos en los ciclos biogeoquímicos y en las pesquerías antes de considerar su masificación como una herramienta de mitigación climática.

Los desafíos que enfrentan estos cuatro ecosistemas, aunque diversos, convergen en la necesidad de una acción coordinada y políticas públicas robustas para proteger y potenciar su rol en la mitigación del cambio climático.

4.1.2. Recomendaciones

El análisis demuestra una paradoja: los ecosistemas que constituyen la infraestructura natural de Chile para la mitigación climática están siendo sistemáticamente degradados por presiones antrópicas y climáticas, invirtiendo su rol de sumideros a fuentes de carbono y socavando la resiliencia territorial del país. Para abordar esta situación de manera efectiva, se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas:

1. **Establecer un Marco de Gobernanza y Monitoreo para la Acción Climática Basada en la Naturaleza:** Es crucial desarrollar un sistema de monitoreo transdisciplinario para evaluar de forma continua el estado de los sumideros de carbono. Este sistema debe estar acoplado

a un modelo de gobernanza colaborativa que integre a comunidades locales, sector privado, academia e instituciones públicas en la gestión y toma de decisiones, asegurando que los beneficios sean compartidos equitativamente.

2. **Diseñar e Implementar un Portafolio de Incentivos para la Inversión en Capital Natural:** Se recomienda crear políticas públicas e incentivos económicos, como los pagos por servicios ambientales, que promuevan activamente la protección de humedales (con especial urgencia en las turberas patagónicas), la restauración ecológica de bosques nativos y la conservación de praderas marinas. Estos mecanismos deben valorar el servicio de secuestro de carbono y otros co-beneficios, como la regulación hídrica y la protección de la biodiversidad.
3. **Incorporar las SbN como Infraestructura Estratégica en la Planificación Territorial y Climática:** El potencial de secuestro de carbono de estos ecosistemas debe ser integrado explícitamente en los instrumentos de planificación territorial y en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs) de Chile. Reconocer a los humedales, bosques y ecosistemas marinos como infraestructura verde esencial permitirá alinear los objetivos de desarrollo con las metas climáticas, construyendo una base sólida para una transición ecológica justa y sostenible.

Cómo citar esta sección:

Yevenes, M. A. (2026). *Secuestro de Carbono en Ecosistemas Clave (Humedales, Bosques, Praderas Marinas, Plancton).* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

4.2. Potencial de carbono azul y verde: conservación, mitigación y adaptación

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Paula S.M. Celis-Plá, Laboratorio de Investigación ambiental Costero / HUB Ambiental, Universidad de Playa Ancha; Departamento de Ciencias y Geografía, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Playa Ancha.

Colaborador:
- Andrés Trabal Fernández, Laboratorio de Investigación ambiental Costero / HUB Ambiental, Universidad de Playa Ancha; Facultad de Ingeniería, Negocios y Ciencias Agroambientales, Universidad de Viña del Mar.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

El sexto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2021) subraya una realidad inequívoca: el clima está experimentando cambios sin precedentes, impulsados por un rápido incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que han elevado la concentración atmosférica a niveles de ~410 ppm, bajo escenarios de emisiones altas, estas concentraciones podrían incrementarse sustancialmente hacia 2100 (IPCC, 2021). En este escenario crítico, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) emergen como un pilar fundamental para la acción climática. Para Chile, un país con una geografía única y diversa, los ecosistemas de "Carbono Azul" (marinos y costeros) y "Carbono Verde" (terrestres) representan activos estratégicos.

4.2.1. Potencial del Carbono Azul: El Rol de los Ecosistemas Marinos y Costeros

La extensa costa de Chile no solo define su identidad geográfica, sino que también constituye un activo estratégico fundamental para la mitigación del cambio climático. El estudio y la cuantificación del carbono azul -el carbono capturado por estos ecosistemas- es una tarea prioritaria para el diseño de políticas robustas que permitan al país capitalizar su potencial natural. En Chile, este potencial reside tanto en ecosistemas tradicionales como en áreas emergentes. Las marismas y praderas de fanerógamas marinas son sumideros altamente eficientes por la capacidad de sus sedimentos anóxicos para almacenar carbono durante largos periodos y su conservación podría evitar emisiones de 304 (141-466) Tg de CO_2 e año^{-1} (Macreadie et al., 2021). Sin embargo, es el rol emergente de las macroalgas (bosques de *kelps*) el que presenta una oportunidad excepcional. Aunque su elegibilidad formal aún se debate, la evidencia cuantitativa indica que su producción primaria neta (PPN) global es alta (1.32-1.5 Pg C año^{-1}) y su capacidad de exportar biomasa a zonas de almacenamiento profundo (hasta un 43,5%) supera a ecosistemas tradicionales como las praderas marinas (24,3%), marismas (18,6%) y manglares (29,5%) (Macreadie et al., 2021). Este potencial de exportación sustenta un flujo global de aproximadamente ~0.679 Pg C año^{-1}, lo que subraya la urgencia de que Chile, con su extensa costa, priorice la investigación en esta área.

A pesar de este potencial, la implementación de proyectos de carbono azul enfrenta desafíos científicos significativos, principalmente la necesidad de demostrar procesos de Remoción de Dióxido de Carbono (CDR; que eliminan CO_2 de la atmósfera y resultan en secuestro). Esto es más complejo que en sistemas terrestres debido a los rápidos tiempos de recambio de la biomasa, las dificultades para rastrear su destino final y las prolongadas escalas temporales de reequilibrio del CO_2 entre el océano y la atmósfera (Boyd et al., 2022; Hurd et al., 2022; Troell et al., 2022).

4.2.2. Potencial del Carbono Verde: Gestión del Suelo y Ecosistemas Terrestres

El carbono verde se centra en ecosistemas como bosques y selvas, sabanas y pastizales, incluidos agroecosistemas sostenibles, así como humedales y turberas, los cuales contribuyen a mitigar el cambio climático mediante la captura de CO_2 atmosférico y su almacenamiento en la biomasa y los suelos. La gestión del

carbono verde en Chile trasciende la mitigación climática; se presenta como un componente integral para fortalecer la resiliencia agrícola, asegurar la disponibilidad hídrica y promover el desarrollo sostenible. El secuestro de Carbono Orgánico del Suelo (COS) mediante prácticas de Soluciones Basadas en la Naturaleza en la Agricultura (Ag-SbN) es una de las estrategias más rentables y efectivas, posicionando al sector agrícola no como un problema, sino como un pilar central de la solución climática (Miralles-Wilhelm, 2021). América Latina y el Caribe (LAC) es una de las regiones con mayor potencial de mitigación del mundo, estimado en 3,4 Gt de CO_2e al año donde el potencial económico total de mitigación basada en la tierra se estima entre 8 y 13,8 $GtCO_2e$ $año^{-1}$, de los cuales las medidas de remoción de dióxido de carbono (CDR) (que incluyen la restauración de ecosistemas y el secuestro en agricultura) aportan aproximadamente 6,6 $GtCO_2e$ $año^{-1}$ (Roe et al., 2021).

Prácticas como la combinación de labranza cero y cultivos de cobertura (o siembra directa con rastrojo) han demostrado ser superiores para aumentar la captura de carbono en cultivos perennes (Li et al., 2024; Miralles-Wilhelm, 2021). Junto a los suelos agrícolas, los ecosistemas forestales nativos son sumideros vitales, cuyo potencial se puede impulsar con prácticas como la agroforestería y la reforestación. Sin embargo, para materializar este potencial es imperativo abordar una serie de desafíos críticos:

- **Incertidumbre Científica:** Existe una alta incertidumbre sobre la capacidad real de captura de carbono en ciertos ecosistemas, como los pastizales, lo que dificulta su inclusión en inventarios y mercados de carbono.
- **Necesidad de MRV Robusto:** La efectividad de cualquier proyecto depende de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) que garantice la adicionalidad (el beneficio climático es resultado directo del proyecto), la permanencia (el carbono se mantiene almacenado a largo plazo) y que evite fugas (desplazamiento de emisiones) y la doble contabilidad.
- **Desafíos Políticos:** La inconsistencia de las políticas públicas y la falta de protocolos estandarizados para la medición y evaluación del carbono son barreras persistentes que obstaculizan la inversión y la implementación a gran escala.

4.2.3. Hacia una Conservación y Restauración Integrada

La conservación y la restauración integrada constituyen el marco de acción fundamental para materializar el potencial de las SbN en Chile. Este enfoque exige priorizar intervenciones que maximicen no solo los beneficios climáticos, sino también los co-beneficios para la biodiversidad y el bienestar humano. El análisis científico es contundente: la conservación de ecosistemas intactos es la estrategia más eficaz y de impacto inmediato (Tölgyesi et al., 2025). Evitar la degradación de un humedal o la deforestación de un bosque previene emisiones que la restauración tardaría décadas o siglos en recapturar. Por ejemplo, se estima que el beneficio climático neto de restaurar una turbera puede tardar aproximadamente 525 años en materializarse, un horizonte temporal explícitamente incompatible con los objetivos a corto y mediano plazo de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) de Chile.

La restauración es necesaria, pero debe complementar, y nunca sustituir, los esfuerzos de conservación. Un diagnóstico específico para Chile revela el siguiente panorama:

- **Oportunidad Azul:** Existe un alto potencial para implementar estrategias de restauración y conservación en humedales costeros. Zonas como el estuario del río Cruces en Valdivia han sido identificadas con un alto potencial para maximizar los beneficios del carbono azul.
- **Oportunidad Verde:** Los bosques templados valdivianos y los ecosistemas de la Patagonia son uno de los ecosistemas de bosques templados más importantes del mundo. Su protección es clave para la estrategia climática nacional.
- **Amenaza y Desafío:** La capacidad de secuestro de carbono en los pastizales de zonas áridas y semiáridas se ha visto drásticamente reducida debido al cambio de uso de suelo, lo que plantea un desafío urgente para las estrategias de regeneración.
- **Brecha Sistémica:** El actual sistema de áreas protegidas en la zona de clima mediterráneo, un *hotspot* de biodiversidad global, no representa adecuadamente su diversidad biológica ni garantiza un acceso equitativo, limitando su eficacia.

4.2.4. Conclusiones y Recomendaciones

La protección de los sumideros de carbono existentes es la acción climática más costo-efectiva y de impacto inmediato que Chile puede emprender. Cualquier esfuerzo de restauración o manejo sostenible, ya sea en ecosistemas azules o verdes, debe estar respaldado por un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) robusto y transparente. Solo así se podrá garantizar una descarbonización verificable, atraer financiamiento climático y construir una economía resiliente.

1. **Priorizar la Conservación y Fortalecer las Áreas Protegidas** Se recomienda la acción inmediata para detener la deforestación y la degradación de ecosistemas clave, como los bosques templados y los humedales costeros. Esta es la estrategia más eficaz para evitar emisiones de carbono y proteger las reservas naturales existentes, que actúan como sumideros funcionales.
2. **Desarrollar un Sistema Nacional de Medición, Reporte y Verificación (MRV)** Es fundamental invertir en la estandarización de protocolos MRV, integrando un conjunto robusto de herramientas como teledetección, parcelas permanentes, Eddy covariance, análisis de isótopos y muestreos de suelos/aguas. Un sistema nacional creíble garantizará la adicionalidad y permanencia de las acciones, habilitando el acceso a financiamiento climático y mercados de carbono.
3. **Incentivar la Agricultura Regenerativa y el Secuestro de Carbono en Suelos** Se debe promover la adopción de prácticas de Ag-SbN a través de políticas de fomento. Fomentar técnicas como la siembra directa con rastrojo y el uso de *biochar* maximizará el potencial de mitigación del sector. El biochar ha demostrado promover la retención de carbono orgánico en el suelo, mejorar la diversidad microbiana, corregir la acidez y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
4. **Impulsar la Investigación Estratégica en Carbono Azul Emergente** Se aconseja apoyar decididamente la investigación científica para cuantificar de forma robusta el potencial de las macroalgas como sumidero de carbono. Esta inversión posicionará a Chile como líder en esta frontera científica y podría abrir futuras y significativas vías de mitigación climática basadas en el océano.

Cómo citar esta sección:

Celis-Plá, P. S. M., & Trabal Fernández, A. (2026). *Potencial de Carbono Azul y Verde: Conservación, Mitigación y Adaptación*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



5 Gobernanza integrada y justicia socioambiental

5.1. Marcos legales e institucionales: desafíos y conflictos de uso del sistema marino

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Jessica Fuentes, Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Universidad de Concepción; Departamento de Derecho Público, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

La gobernanza del sistema marino-costero de Chile se enfrenta a la creciente presión de los impactos del cambio climático, sumada a los históricos conflictos de uso entre sectores productivos y la conservación, lo que exige un marco legal e institucional robusto, coherente y adaptativo. Contar con una arquitectura de gobernanza sólida no es solo una necesidad ambiental, sino un imperativo estratégico para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas marinos, la resiliencia de las comunidades costeras y el desarrollo económico del país. Este análisis examina el marco normativo vigente, identificando tanto sus avances fundamentales como las brechas críticas que persisten.

5.1.1. Diagnóstico del Marco Normativo: Avances y Brechas

El panorama legislativo chileno ha experimentado avances significativos con la promulgación de dos instrumentos clave que actúan como pilares de la gobernanza ambiental y climática: la Ley Marco de Cambio Climático (LMCC) y la Ley sobre Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP). Estas normativas, complementadas por compromisos internacionales como el acuerdo BBNJ, establecen una base institucional con un potencial considerable para una gestión integrada, aunque su implementación y articulación aún enfrentan importantes desafíos.

- **Ley Marco de Cambio Climático (LMCC):** Este instrumento representa un avance fundamental al establecer una estructura institucional clara y fijar la meta de carbono neutralidad para 2050, demostrando un enfoque transversal para la acción climática (Moraga, 2022). Sin embargo, su proceso de elaboración ha sido objeto de críticas por la subparticipación de actores clave, como los ministerios de energía y relaciones exteriores, así como de gobiernos regionales y municipalidades. Además, se ha señalado que los mecanismos implementados solo permitieron un nivel mínimo de participación ciudadana, lo que podría limitar su legitimidad y eficacia a largo plazo (Madariaga, 2021).
- **Ley de Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP):** Esta ley constituye una oportunidad histórica para superar la fragmentación que ha caracterizado la gestión ambiental en Chile. Al unificar la administración de áreas protegidas terrestres y marinas bajo un único servicio, se sientan las bases para una planificación con enfoque ecosistémico, eliminando categorías de protección dispersas y promoviendo una visión integral. Su potencial radica en mejorar la coordinación intersectorial y fortalecer la planificación y el monitoreo de la biodiversidad frente a las amenazas del cambio climático.

- **Acuerdo Biodiversidad más allá de la Jurisdicción Nacional (BBNJ):** Al ratificar este acuerdo en enero de 2024, Chile alinea su gobernanza oceánica con los más altos estándares multilaterales sobre la biodiversidad marina fuera de la jurisdicción nacional. Este tratado es crucial, ya que refuerza un enfoque ecosistémico al establecer un sistema de áreas marinas protegidas en alta mar, lo que permite conectar la gestión de las Áreas Marinas Protegidas (AMP) costeras con las de aguas internacionales con estándares multilaterales, consolidando un enfoque ecosistémico en la planificación espacial marina (SUBPESCA, 2022).

5.1.2. Desafíos Centrales en la Gobernanza del Océano y la Costa

A pesar de los avances normativos, la gobernanza del sistema marino-costero chileno enfrenta desafíos estructurales que impiden una gestión integrada y eficaz. La persistencia de una cultura institucional sectorial, la superposición de competencias y la limitada participación de las comunidades locales son obstáculos que merman la capacidad de respuesta del país ante la crisis climática y los conflictos de uso.

A continuación, se diagnostican los problemas más relevantes:

- **Fragmentación institucional y regulatoria** sigue profundamente arraigada, con múltiples agencias gubernamentales que supervisan regímenes regulatorios independientes y descoordinados para los distintos usos del océano (Macpherson et al., 2021; Craig, 2012). Esta desarticulación, sumada a la escasez de recursos y capacidad, obstaculiza la elaboración de instrumentos clave, como los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), que corren el riesgo de ser vaciados de contenido por normativas sectoriales de mayor jerarquía (Delooz & Serrano, 2023). Precisamente para abordar esta problemática, la nueva Ley SBAP emerge como una herramienta institucional prometedora, diseñada para reducir dicha fragmentación y mejorar la coordinación intersectorial.
- **Conflictos de uso y planificación espacial.** El océano es un escenario de múltiples disputas entre la pesca, la acuicultura, la conservación, el turismo y la explotación energética, que se manifiestan en pugnas por el acceso, los derechos y la distribución de beneficios (Tafon et al., 2022). Históricamente, el uso de un concepto limitado de "borde costero" ha impedido desarrollar la visión integral necesaria para una planificación territorial que abarque la compleja interfaz tierra-mar (Vasquez et al., 2023).
- **Deficiencias en materia de participación, equidad y derechos humanos.** La falta de mecanismos institucionales que garanticen una participación ciudadana informada, transparente y con incidencia real limita el compromiso y la durabilidad de la acción climática (Sapiains et al., 2022). Esta debilidad se refleja en la gestión pesquera, donde la asimetría de poder en instancias colectivas puede estar vinculada al otorgamiento de derechos territoriales (Aburto et al., 2024); en este contexto, se ha sugerido que el establecimiento de Áreas Marinas Protegidas puede contribuir a contrarrestar estos efectos (Asokan, 2024). A esto se suma la omisión del derecho a una alimentación adecuada en los principales instrumentos climáticos del país (Aguilar et al., 2024).

5.1.3. Herramientas de Gestión y sus desafíos de integración

- **Planificación Espacial Marina (PEM),** proceso proactivo para asignar y conciliar usos del espacio marino de forma integrada, evitando conflictos (Rayfuse, 2020). Sin embargo, no está incorporada en la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) de Chile y enfrenta desafíos en la participación de interesados y el equilibrio entre desarrollo y conservación (Van Assche et al., 2020).
- **Áreas Marinas Protegidas (AMP),** aportan claridad en derechos de uso, fortalecen la gobernanza comunitaria y pueden contrarrestar la captura regulatoria (Asokan, 2024; Cinti et al., 2025). Sin embargo, a menudo se desarrollan en paralelo y con escasa integración con la PEM, cuando deberían ser un componente explícito de esta (Trouillet & Jay, 2021).

5.1.4. Recomendaciones

A partir del diagnóstico de los marcos normativos, las brechas institucionales y los conflictos de uso, es posible formular un conjunto de recomendaciones estratégicas. Estas propuestas buscan fortalecer la gobernanza marino-costera de Chile, orientándola hacia un modelo más resiliente, equitativo y eficaz, capaz de responder a los complejos desafíos del cambio climático y la sostenibilidad.

1. **Integrar la Planificación Espacial Marina (PEM) en la Estrategia Climática Nacional:** Dado que la PEM es una herramienta clave para gestionar conflictos y no está en la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), se recomienda su incorporación explícita para asegurar que la planificación oceánica se alinee con las metas nacionales de mitigación y adaptación, promoviendo una gestión espacial coherente con los objetivos climáticos.
2. **Fortalecer los Mecanismos de Coordinación Interinstitucional:** Para combatir la fragmentación regulatoria (Macpherson et al., 2021; Craig, 2012), es crucial implementar mecanismos efectivos de coordinación entre el nuevo Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP), los diferentes ministerios y los gobiernos regionales. Esto asegurará que los instrumentos de ordenamiento territorial, como los PROT, y los planes de uso costero sean coherentes y sinérgicos.
3. **Implementar Marcos de Participación Pública Vinculante:** En respuesta a la limitada participación ciudadana documentada (Madariaga, 2021; Sapiains et al., 2022), se debe transformar los mecanismos institucionales existentes para establecer procesos de participación temprana, deliberativa y con incidencia real en la toma de decisiones sobre el uso del espacio marino y costero, fortaleciendo la legitimidad y durabilidad de las políticas públicas.
4. **Acelerar la Implementación de la Ley SBAP:** Se debe apoyar la instalación de la Ley SBAP, dotando al nuevo servicio de los recursos y atribuciones necesarios para consolidar la administración de las áreas protegidas. Considerando que el órgano se encuentra en etapa de implementación, el esfuerzo inicial debe asegurar la gestión efectiva de las AMP, sentando progresivamente las bases que permitan un mejor diálogo y coexistencia entre los objetivos de conservación de la biodiversidad y los instrumentos de ordenamiento espacial marino.
5. **Incorporar un Enfoque de Derechos Humanos en la Política Climática Marina:** Para subsanar las omisiones actuales (Aguilar et al., 2024; Bennett et al., 2023), se recomienda integrar explícitamente el derecho a una alimentación adecuada, la equidad de género y la protección de las comunidades costeras vulnerables y de los defensores del océano en todos los Instrumentos de Gestión del Cambio Climático (IGCC) relacionados con el mar. Este enfoque garantiza que la acción climática sea también una acción de justicia social y ambiental

Cómo citar esta sección:

Fuentes, J. (2026). *Marcos Legales e Institucionales: Desafíos y Conflictos de Uso del Sistema Marino.* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Síntesis de talleres regionales con la comunidad científica

Recuadro 4. Brechas de gobernanza y capacidades para la gestión integrada del sistema marino–costero.

Los talleres regionales aportaron evidencia territorial que complementa el diagnóstico nacional sobre gobernanza climática. Sus comentarios se focalizaron en tres grandes falencias: las contradicciones y falta de coherencia normativa, el déficit de coordinación intersectorial, y las limitaciones de capacidades técnicas a nivel local. Coinciden en que la fragmentación institucional es el principal obstáculo para una planificación territorial efectiva y para la implementación de medidas de adaptación climática. Se subrayaron prioridades como promover marcos normativos coherentes, institucionalizar mecanismos de coordinación permanente entre sectores, estandarizar y articular datos científicos y locales, y asegurar financiamiento sostenido para los equipos técnicos regionales. Adicionalmente, se destacó la importancia de incorporar procesos participativos continuos y estrategias de comunicación comunitaria para legitimar las decisiones sobre los usos del borde costero y la conservación de los servicios ecosistémicos.

En Valparaíso se conversó acerca de la creación de redes nacionales de monitoreo, el fortalecimiento de los planes de manejo y la posibilidad de establecer un órgano ministerial especializado en océanos como vía para centralizar competencias dispersas y mejorar la generación y gestión de datos. En Concepción el foco estuvo en las contradicciones regulatorias existentes, citando ejemplos como regresiones normativas y el uso de mecanismos de "fast track" que debilitan la evaluación ambiental. Como contrapartida, se profundizó en propuestas orientadas a la co-habilitación de usos en el espacio marino, la necesidad de una planificación territorial basada en ecosistemas y la sensibilización comunitaria. Además, se aportó una mirada explícita sobre la interdependencia entre océano, clima, biodiversidad y bienestar humano, condición que refuerza las demandas por soluciones territoriales más integradas.

Los talleres regionales también reconocieron la existencia de capacidades locales, aunque estas son parciales y operan de manera aislada. Los equipos técnicos demandan formación sostenida, normas para la estandarización de datos y financiamiento para el monitoreo ecosistémico y climático. Si bien la evidencia científica y los marcos legales (p. ej. LMCC, SBAP, alineamiento con el tratado BBNJ) constituyen una base técnica y jurídica, los talleres señalaron vacíos críticos en su operación práctica, que incluyen la baja sensibilidad de los modelos predictivos, la falta de interoperabilidad de datos y una vinculación aún debil entre los centros de investigación y los actores regionales. Superar estas brechas es indispensable para sustentar una planificación espacial marina robusta y medidas de adaptación efectivas.

Orientaciones para la toma de decisiones:

- - Se sugiere priorizar una revisión de contradicciones normativas y de los procedimientos de autorización sectorial para asegurar su coherencia con los objetivos nacionales de adaptación al cambio climático y conservación de la biodiversidad.
- - Se propone evaluar opciones de diseño institucional: fortalecimiento de coordinación intersectorial vs. la creación de un órgano ministerial especializado en océanos, mediante análisis de costos, competencias y efectos sobre la participación local.
- - Se propone impulsar proyectos piloto de Planificación Espacial Marina y modelos de co-habilitación de usos que integren datos estandarizados, evaluación de vulnerabilidades y mecanismos para la resolución de conflictos.
- - Se recomienda fortalecer capacidades técnicas locales y asegurar financiamiento sostenido, que garantice un monitoreo interoperable y una articulación efectiva entre centros de investigación, gobiernos regionales y comunidades.
- - Se sugiere intensificar la comunicación y sensibilización comunitaria como una condición indispensable para legitimar las decisiones de uso del espacio marino y proteger los derechos humanos en contextos de alta presión por usos productivos y de conservación.

5.2. Rol de comunidades locales y pueblos originarios en la gestión adaptativa

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:
- Bárbara Jerez Henríquez, Centro de Estudios del Desarrollo Regional y Políticas Públicas (CEDER), Universidad de Los Lagos; FONDECYT 11251266; ANILLO ATE230072; Centro Nacional de Investigación sobre Ríos, Invasiones y Ecosistemas (IRIS) CIN250047.

Colaboradoras:
- Janny Figueroa Ayala, ANILLO ATE230072; FONDECYT 11251266, Universidad de Los Lagos
- Javiera Rodríguez Olguín, FONDECYT 11251266, Universidad de Los Lagos.
- Claudia Ávila Soto, FONDECYT 11251266, Universidad de Los Lagos.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

5.2.1. Vulnerabilidad y Capacidades Comunitarias frente al Cambio Climático

El riesgo de desastres socionaturales en el país se agrava por la convergencia del cambio climático -que incrementa la frecuencia de sequías, incendios e inundaciones- con intervenciones antropogénicas como proyectos extractivos y la expansión urbana desregulada. Esta interacción crea un complejo escenario de vulnerabilidad que afecta desproporcionadamente a comunidades con desigualdades históricas, reproduciendo ciclos persistentes donde la elevada vulnerabilidad social, las limitadas capacidades institucionales y el deterioro ambiental impiden una respuesta y recuperación efectivas.

A pesar de estos obstáculos, las comunidades locales, indígenas y campesinas emergen como agentes fundamentales en los procesos de adaptación, gracias a su profundo conocimiento de las dinámicas territoriales. Sin embargo, es crucial reconocer que la escala e intensidad sin precedentes de los impactos climáticos actuales están llevando estos sistemas de conocimiento a sus límites. Un análisis que sistematiza más de 118 experiencias a nivel global (Schlingmann et al., 2021) identifica dos tipos principales de respuestas comunitarias:

- **Ajustes en Prácticas Productivas:** Las comunidades modifican activamente el uso de sus bienes naturales para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales, demostrando una gestión flexible y situada.
- **Nuevas Formas de Organización y Colaboración:** Se fortalecen redes sociales, se diversifica el trabajo (a menudo fuera del territorio de residencia) y se forjan alianzas estratégicas con instituciones para proteger los ecosistemas y construir resiliencia colectiva.

Estos hallazgos revelan la urgencia de transitar desde un enfoque reactivo hacia uno que formalice y potencie estas capacidades endógenas a través de políticas públicas que garanticen una participación comunitaria efectiva y vinculante.

5.2.2. Hacia una Gobernanza Climática Participativa y Justa

El fortalecimiento de la participación comunitaria es un imperativo democrático y un componente estratégico esencial para el éxito de la acción climática. Diseñar e implementar políticas de adaptación eficaces, legítimas y sostenibles requiere construir procesos de gobernanza genuinamente colaborativos, donde los conocimientos y prioridades locales sean un pilar central de la toma de decisiones.

Experiencias en Chile validan la efectividad de este enfoque. Destaca el caso de la red de mujeres de la cordillera de Nahuelbuta, cuyo liderazgo resultó en exitosas iniciativas de restauración ambiental co-diseñadas (N. Carrasco & Mendoza, 2021). Asimismo, en Puerto Saavedra, el reconocimiento de los saberes Mapuche-lafkenche fue clave para mejorar la gestión de desastres por efecto de Tsunamis, demostrando ser una

estrategia vital precisamente en comunas con limitadas capacidades institucionales y alta vulnerabilidad social y ambiental (Molina et al., 2018).

Estas recomendaciones y ejemplos marcan un camino claro, aunque para recorrerlo es necesario identificar y abordar las brechas de conocimiento que aún limitan el diseño de políticas públicas más efectivas.

5.2.3. Vías de Acción para una Adaptación Resiliente y Equitativa

La evidencia analizada indica que la adaptación exitosa y justa al cambio climático en Chile depende críticamente de implementar un modelo de gobernanza integrada. Este modelo debe empoderar a las comunidades locales, reconociendo sus sistemas de conocimiento y capacidades organizativas como pilar fundamental de la resiliencia territorial. Fortalecer la colaboración, el diálogo de saberes y la co-producción de políticas no solo aumentará la eficacia de las medidas de adaptación, sino que también contribuirá a la justicia climática y ambiental.

Para acelerar este proceso, es prioritario que la acción política y académica se enfoque en cerrar las siguientes brechas de conocimiento estratégicas:

- **Sistematización de experiencias** de adaptación comunitaria para identificar patrones, lecciones aprendidas y buenas prácticas replicables.
- **Análisis y escalamiento de aprendizajes** derivados de procesos de co-diseño, gobernanza colaborativa y ciencia ciudadana, para informar el diseño de políticas públicas a mayor escala.
- **Estudios sobre la compleja interacción** entre los impactos del cambio climático y la degradación ambiental generada por proyectos extractivos a gran escala, con el fin de comprender sus efectos acumulativos y recabar las propuestas de mitigación y adaptación que surgen desde los propios territorios afectados.

5.2.4. Recomendaciones

1. **Transitar hacia la Co-producción Vinculante:** Es fundamental que las municipalidades superen los esquemas meramente consultivos para adoptar procesos de co-producción de instrumentos de gestión de riesgo y acción climática (Biskupovic et al., 2024). Metodologías como los mapeos colectivos permiten integrar visiones diversas y asegurar que las estrategias resultantes cuenten con legitimidad social y pertinencia territorial (Biskupovic et al., 2024).
2. **Reconocer y Valorar los Sistemas de Conocimiento Local e Indígena:** Los saberes ecológicos locales e indígenas constituyen un activo estratégico para la adaptación, al ofrecer una comprensión holística del territorio que integra lo material, inmaterial y espiritual. Este reconocimiento es, además, un acto de justicia climática que contrarresta la marginación histórica de estos saberes en la toma de decisiones (Makondo & Thomas, 2018).
3. **Fomentar la Transdisciplinariedad y el Diálogo de Saberes:** Debe promoverse la articulación de conocimientos tradicionales, indígenas y científicos a través de mecanismos como la ciencia ciudadana. Este enfoque permite una comprensión más completa de los bienes comunes como redes socio-naturales interconectadas (mar, cuenca, cordillera) y enriquece el repertorio de herramientas disponibles para la adaptación (Cursach et al., 2024; Jerez Henríquez et al., 2025; Makondo & Thomas, 2018).
4. **Promover Estrategias Basadas en la Agroecología:** Las prácticas agroecológicas han demostrado fortalecer la resiliencia socioecológica a través de técnicas concretas como la diversificación de cultivos, el manejo ecológico de suelos y el resguardo de semillas locales. Estas estrategias mejoran la capacidad adaptativa frente a la sequía y la degradación ambiental, al tiempo que empoderan a las comunidades (Altieri & Nicholls, 2013).

5. **Fortalecer la Comunicación de Riesgos y Capacidades Locales:** Comunicar la información sobre riesgos climáticos y mecanismos de adaptación de manera oportuna, accesible y comprensible resulta clave para fortalecer la participación local (Biskupovic et al., 2024). Superar la percepción de que este es un conocimiento exclusivo de expertos es un paso indispensable para fomentar una participación ciudadana informada, crítica y proactiva.

Cómo citar esta sección:

Jerez Henríquez, B., Figueroa Ayala, J., Rodríguez Olguín, J., & Ávila Soto, C. (2026). *Rol de Comunidades Locales y Pueblos Originarios en la Gestión Adaptativa*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

5.3. Financiamiento y condiciones habilitantes (investigación, monitoreo, transición productiva)

Este apartado se basa en los aportes de:

Autor:

- Fabrice Lambert, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile; Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile; Center for Climate and Resilience Research (CR2).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

5.3.1. Marco Conceptual y Urgencia del Financiamiento Climático

Posicionar el financiamiento climático como pilar estratégico es una condición indispensable para el desarrollo sostenible de Chile. La alta vulnerabilidad del país -cumpliendo siete de los nueve criterios establecidos por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)- convierte la movilización de recursos en una prioridad nacional ineludible para garantizar la resiliencia de sus territorios, ecosistemas y comunidades. La implementación de medidas de adaptación efectivas exige no solo capital sustancial, sino también un marco institucional que gestione dichos recursos con máxima eficiencia e impacto. La adopción estratégica de Chile de una definición amplia de financiamiento climático, que integra recursos de fuentes públicas, privadas y mixtas, tanto nacionales como internacionales, es fundamental para maximizar la captación de capital. Esta concepción se alinea con el principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas" del Acuerdo de París, contextualizando el rol de la cooperación internacional como un complemento, y no un sustituto, de los esfuerzos nacionales. La necesidad conceptual de estos recursos se materializa a través de una arquitectura financiera diversificada que Chile ha comenzado a implementar.

5.3.2. Instrumentos de financiamiento para la adaptación

Contar con un portafolio diversificado de instrumentos financieros es clave para responder a la complejidad de la crisis climática. Esta diversidad permite abordar las distintas escalas y naturalezas de los proyectos de adaptación, desde iniciativas comunitarias a nivel local hasta el desarrollo de grandes infraestructuras resilientes.

La arquitectura financiera de Chile se estructura en torno a tres categorías complementarias:

- **Instrumentos Públicos Nacionales:** Constituyen el pilar del financiamiento territorial. Mecanismos como el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) y el Fondo de Protección Ambiental (FPA), así como la Estrategia Financiera frente al Cambio Climático, liderada por el Ministerio de Hacienda (Ministerio de Hacienda, 2020), son cruciales para canalizar recursos hacia proyectos de adaptación a nivel subnacional y comunitario, anclando la acción climática en las realidades locales (MMA, 2024b; SUBDERE, 2023).
- **Instrumentos Financieros Innovadores:** Para movilizar capital privado a escala, Chile ha recurrido a mecanismos innovadores. Los bonos verdes han demostrado ser una herramienta eficaz para financiar proyectos de adaptación y mitigación. Adicionalmente, el financiamiento mixto (*blended finance*), ejemplificado por iniciativas como el Fondo Kuali -gestionado por una entidad española-, combina recursos públicos y privados para reducir el riesgo de las inversiones y catalizar flujos de capital adicionales hacia la región (COFIDES, 2024).
- **Fuentes Internacionales:** Los fondos multilaterales, como el Fondo Verde para el Clima y el Fondo de Adaptación, y los bancos de desarrollo, como

la Corporación Andina de Fomento (CAF), juegan un rol clave al canalizar recursos y asistencia técnica (CAF, 2024). Se espera que las conclusiones de la COP30 marquen un hito, con iniciativas estratégicas como el *Blue Package*, diseñado para acelerar soluciones climáticas basadas en el océano. Este impulso se ve reforzado por el compromiso global de triplicar el financiamiento para la adaptación hacia 2035 (https://cop30.br/es), abriendo nuevas avenidas para el país.

5.3.3. Condiciones Habilitantes para un Financiamiento Efectivo

El capital por sí solo no garantiza la resiliencia. Un ecosistema de "condiciones habilitantes" es fundamental para asegurar que los recursos se asignen de manera eficiente, transparente y generen el máximo impacto.

- **Marco Institucional:** La Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455) articula la columna vertebral de la gobernanza climática en Chile. Al mandatar una estrategia financiera y definir instrumentos de gestión subnacionales como los Planes de Acción Regional (PARCC) y Comunales (PACCC), la ley crea un mandato ineludible para la planificación e integración del financiamiento en todos los niveles de gobierno (MMA, 2022; ParlAmericas, 2023).
- **Capacidades Técnicas e Institucionales:** La movilización y gestión de fondos climáticos requieren una experticia considerable en evaluación de riesgos, diseño y gestión de proyectos financiables y monitoreo de impactos (EULAIF, 2024; OECD, 2024; PNUD, 2024). Iniciativas como la Mesa Público-Privada de Finanzas Verdes, coordinada por el Ministerio de Hacienda, son vitales para fortalecer estas capacidades en el sector financiero y asegurar que las decisiones de inversión incorporen adecuadamente las variables climáticas (Ministerio de Hacienda, 2024).
- **Información y Transparencia:** La disponibilidad de datos robustos y la transparencia en su gestión son requisitos indispensables para atraer inversiones y generar confianza. Herramientas como el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim) permiten identificar vulnerabilidades a nivel comunal, mientras que los sistemas de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) aseguran la rendición de cuentas y facilitan el acceso a mercados de capitales internacionales (MMA, 2024a).

5.3.4. Desafíos y Barreras para el financiamiento

Los desafíos existentes no deben interpretarse como fracasos, sino como los obstáculos prioritarios que deben superarse para escalar el financiamiento climático en Chile. Su correcta identificación es el primer paso para diseñar soluciones efectivas y focalizar los esfuerzos de política pública.

- **Brecha de Financiamiento:** Existe una brecha crítica entre las necesidades de adaptación y los recursos disponibles. Las necesidades financieras totales identificadas ascienden a más de USD 851 millones (incluyendo USD 593 millones para apoyo directo, USD 258 millones para desarrollo de capacidades y USD 352.000 para transferencia tecnológica). Esta cifra contrasta marcadamente con los recursos públicos asignados, que promedian cerca de USD 200 millones anuales (DIPRES, 2025; MMA, 2021c; ParlAmericas, 2023), evidenciando un déficit estructural. Esta brecha se agrava porque los beneficios de la adaptación son a menudo "bienes públicos", lo que dificulta su monetización y desincentiva la inversión privada (BCN, 2023).
- **Barreras Institucionales y Regulatorias:** El marco normativo actual presenta limitaciones para el despliegue de instrumentos innovadores. Los seguros paramétricos, por ejemplo, requieren regulaciones específicas para su desarrollo, y aunque Chile ha sido pionero en incluir cláusulas de desastres naturales en su deuda, se necesita un mayor desarrollo normativo para escalar su uso (CAF, 2024).

- **Capacidades Técnicas Limitadas:** La falta de capacidades para diseñar, implementar y gestionar proyectos de adaptación financiables sigue siendo una barrera crítica, especialmente a nivel regional y local. Esta debilidad es particularmente preocupante dado el mandato de la Ley Marco para que todos los municipios elaboren sus Planes Comunales (PACCC) en un plazo de tres años (Pacto de Alcaldes, 2023).

5.3.5. Oportunidades Estratégicas y Perspectivas de Innovación

Las oportunidades emergentes ofrecen vías estratégicas para superar los desafíos identificados. La innovación financiera, combinada con el aprovechamiento de los activos naturales del país, es clave para atraer nuevas fuentes de capital y movilizar al sector privado de manera decisiva.

- **Innovación en Instrumentos Financieros:** Los canjes de deuda por naturaleza representan un alto potencial para Chile, permitiendo reestructurar deuda a cambio de compromisos de conservación y adaptación (Naciones Unidas, 2025). Del mismo modo, los bonos de resiliencia, diseñados para financiar infraestructura adaptada al clima, pueden construirse sobre la base de la experiencia nacional en bonos para catástrofes (EULAIF, 2024; OECD, 2024).
- **Mercados de Carbono y Co-beneficios de Adaptación:** El Impuesto Verde y su mecanismo de compensación (*offsets*) crean un mercado sancionado por el gobierno que incentiva la inversión del sector privado. Este mecanismo puede canalizar capital hacia proyectos, como la restauración de ecosistemas, que generan tanto mitigación como valiosos co-beneficios de adaptación (BCN, 2023; FAO, 2024), que de otro modo tendrían dificultades para encontrar financiamiento.
- **Financiamiento Catalítico:** El uso estratégico de recursos públicos a través de garantías o seguros puede reducir significativamente el riesgo percibido por los inversores privados (ACHM, 2025; Climate Funds Update, 2023). Este enfoque catalítico es clave para movilizar la inversión privada en proyectos de adaptación que, de otro modo, no se considerarían financieramente viables.
- **Restauración Ecológica como Solución Basada en la Naturaleza:** La restauración se posiciona como una estrategia central que puede financiarse mediante una combinación de fuentes, incluyendo el Fondo Naturaleza Chile, bonos verdes, compensaciones del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y fondos internacionales (ej. GEF, Fondo Verde para el Clima), demostrando un enfoque de portafolio para la resiliencia (PNUD, 2023b).

El financiamiento de la adaptación al cambio climático en Chile enfrenta desafíos significativos, pero también presenta oportunidades importantes. La arquitectura financiera existente proporciona una base sólida, pero requiere fortalecimiento y expansión para atender las necesidades identificadas.

5.3.6. Recomendaciones

1. **Fortalecer el Marco Institucional:** Es prioritario crear una Ventanilla Única de Financiamiento Climático. Esta entidad debe centralizar y coordinar los recursos de diversas fuentes (nacionales e internacionales) para simplificar y facilitar el acceso a financiamiento por parte de entidades subnacionales, el sector privado y la sociedad civil.
2. **Acelerar el Desarrollo de Capacidades:** Se debe establecer un programa nacional de capacitación en finanzas climáticas de alto impacto. Este programa debe estar dirigido a funcionarios públicos, sector financiero y organizaciones de la sociedad civil, enfocándose en el diseño de proyectos financiables y la gestión de riesgos climáticos.

3. **Promover la Innovación Financiera:** Se sugiere promover el desarrollo de instrumentos financieros innovadores específicamente diseñados para el contexto chileno, incluyendo seguros paramétricos para agricultura, bonos de resiliencia hídrica y fondos de adaptación territoriales.

Cómo citar esta sección:

Lambert, F. (2026). *Financiamiento y Condiciones Habilitantes (Investigación, Monitoreo, Transición Productiva)*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

5.4 Iniciativas exitosas desde Chile (AMERBs, monitoreo comunitario, restauración)

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:

- Eduardo Hernández-Miranda, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción; Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Universidad de Concepción; Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Universidad de Concepción.
- Ricardo Norambuena-Cleveland, Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción.
- Nelson Lagos, Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC), Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás.

Colaboradores:

- Valentina Manríquez, Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción.
- M. Cristina Krautz, Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Universidad de Concepción.
- Ernesto Díaz-Cabrera, Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Universidad de Concepción.
- Rodrigo Veas, Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Universidad de Concepción.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

5.4.1. Hacia una Gobernanza Integrada para la Resiliencia Climática

La compleja interacción entre el océano, el clima y la biodiversidad en Chile exige marcos de gobernanza que superen los enfoques sectoriales tradicionales. Ante la creciente frecuencia e intensidad de amenazas como las olas de calor marinas, floraciones algales nocivas, hipoxia y acidificación oceánica, resulta estratégico transitar hacia modelos de gestión integrados, con base territorial y genuinamente adaptativos. Chile ya cuenta con una arquitectura institucional que puede servir como cimiento para esta transición, destacando instrumentos como las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), los Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios (ECMPO) y la Ley de Humedales.

5.4.2. AMERB: Co-manejo, Gobernanza Pesquera Local y Justicia Socioambiental

Las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) representan uno de los experimentos de co-manejo territorial más extensos del mundo, posicionándose desde la década de 1990 como un instrumento estratégico para la sustentabilidad de la pesca artesanal en Chile (Castilla & Defeo, 2001). La asignación de derechos de uso territorial exclusivos a organizaciones de pescadores ha generado impactos positivos significativos, fomentando no solo la recuperación biológica de especies de alto valor como el *Concholepas concholepas* (loco) y el *Loxechinus albus* (erizo de mar) (Defeo & Castilla, 2005), sino también el fortalecimiento del capital social y la resiliencia socioeconómica de las comunidades. Sin embargo, el éxito del sistema es heterogéneo, pues sus beneficios se ven erosionados por la vulnerabilidad económica, la pesca ilegal y una fiscalización débil (Aburto et al., 2013; Gelcich et al., 2012). A pesar de ello, las AMERB han contribuido directamente a la resiliencia al incentivar la gestión adaptativa, como lo demuestra la experiencia de los pescadores de Chepu (Chiloé), quienes establecieron un refugio marino voluntario que integra manejo, monitoreo y educación ambiental (MMA, 2021a).

A pesar de estos logros, la efectividad de las AMERB como herramientas de adaptación climática se ve limitada por desafíos de gobernanza y justicia. Se han identificado brechas de equidad y una percepción de falta de transparencia que pueden debilitar la legitimidad del co-manejo y reducir su capacidad adaptativa frente al cambio climático (Franco-Meléndez et al., 2021). Cuando la justicia procesal es débil, se erosiona el compromiso comunitario con las normas, reduciendo la capacidad adaptativa colectiva. Por ello, las AMERB más exitosas operan como verdaderos laboratorios socio-ecológicos donde convergen instituciones, ciencia y conocimiento tradicional para

retroalimentar la gestión. Fortalecer la justicia procesal en las AMERB subraya la importancia de reconocer adecuadamente los derechos y conocimientos de todos los actores territoriales, incluyendo de manera fundamental a los pueblos originarios, cuyo rol es central en el siguiente instrumento de gobernanza.

5.4.3. Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios (ECMPO): Justicia Biocultural y Gobernanza Policéntrica

Los ECMPO constituyen una innovación fundamental en la justicia ambiental chilena, desafiando el modelo de administración centralizado al integrar visiones y conocimientos indígenas en la gestión territorial (Cordero Quinzacara, 2021; García Ojeda et al., 2020). Creados por ley en 2008, estos espacios reconocen y protegen el uso consuetudinario ancestral, fortaleciendo la resiliencia biocultural y la adaptación climática al validar la memoria y el conocimiento ancestral como estrategias de gestión frente a amenazas ambientales (Guerrero Peña et al., 2020). Un ejemplo destacado es el sistema de "parcelas de mar" de las comunidades Chango Mareras para el manejo del cochayuyo (*Durvillaea antarctica*). Este modelo se sustenta en una visión biocultural (*kosmos-corpus-praxis*) que concibe la naturaleza como un ente regulador, generando una gestión adaptativa de probada eficacia a largo plazo (Guerrero Peña et al., 2020).

No obstante, la implementación de los ECMPO enfrenta obstáculos significativos debido a la superposición con intereses de la acuicultura y la pesca industrial, y a la preexistencia de otras figuras de administración, lo que genera una alta conflictividad (Bugueño Fuentes, 2021; Carrasco-Bahamonde et al., 2021). Superar esta fragmentación administrativa requiere una mejor articulación multiescalar que integre los ECMPO en la planificación espacial a nivel regional y nacional; gestionar la diversidad de actores y promover el aprendizaje social y la construcción de confianza (Benavente-Bargetto, 2020), asegurando la justicia de reconocimiento para los pueblos originarios y garantizando el carácter vinculante de sus planes de administración. El análisis de estos instrumentos basados en derechos de uso territorial nos conduce a la necesidad de complementar la gobernanza con un enfoque más amplio en soluciones basadas directamente en la funcionalidad del ecosistema.

5.4.4. Soluciones Basadas en la Naturaleza: Humedales, Monitoreo y Restauración Activa

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) son un pilar estratégico en la política de adaptación climática, ya que utilizan las capacidades de los ecosistemas para abordar desafíos sociales y ambientales. En el contexto marino-costero chileno, la protección de humedales, el monitoreo comunitario y la restauración ecológica activa se presentan como componentes interconectados y fundamentales de este enfoque, promoviendo la resiliencia desde una perspectiva ecosistémica.

- **Humedales Urbanos como Barreras Naturales:** Los humedales costeros desempeñan un rol crucial como barreras naturales que amortiguan eventos extremos y actúan como sumideros de carbono azul (Urresti, 2019). Aunque la Ley N°21.202 ha sido un avance para su protección (BCN, 2020), su alcance es limitado, pues la estrategia actual solo cubre el 14% de los humedales costeros del país. Su implementación, además, enfrenta debilidades significativas en materia de recursos y fiscalización, lo que restringe su efectividad como herramienta de adaptación a escala nacional (Rojas Quezada, 2024).
- **Monitoreo Comunitario y Restauración Ecológica:** El monitoreo comunitario y la restauración ecológica son prácticas complementarias que empoderan a los actores locales. Iniciativas como "*Sentinels of Carelmapu*" y "Científicos de la Basura" demuestran cómo la ciencia ciudadana genera datos locales robustos que informan directamente políticas nacionales, como la Estrategia Nacional de Residuos Marinos (Araos et al., 2024; MMA, 2021b). Por otro lado, la restauración activa de ecosistemas, como los bosques de huiro palo (*Lessonia trabeculata*) con doble función de mitigación y adaptación (Oyarzo-Miranda et al., 2023) y huiro flotador (*Macrocystis integrifolia*), a través de restauración asistida

en laboratorio (Westermeier et al., 2011), es una medida de adaptación directa que ya está siendo integrada en planes sectoriales. Experiencias exitosas en lugares como la bahía de Tongoy han demostrado la capacidad de recuperación de estos hábitats, cuando se reducen las presiones antrópicas (Camus et al., 2018), reconociendo que la resiliencia del sector pesquero depende de la salud de los ecosistemas.

Aunque Chile cuenta con valiosas iniciativas de SbN, su consolidación como una estrategia nacional coherente y efectiva depende de superar la fragmentación de esfuerzos y asegurar una inversión estable a largo plazo.

El diagnóstico principal es claro: Chile posee una base sólida de instrumentos de gobernanza territorializada (AMERB, ECMPO, etc.), pero su potencial para una adaptación climática transformadora está limitado por la fragmentación administrativa y la insuficiente integración del riesgo climático en la gestión.

5.4.5. Recomendaciones

1. **Integrar el Riesgo Climático en la Planificación Territorial:** Es imperativo incorporar de manera explícita y vinculante los análisis de vulnerabilidad y riesgo climático en todos los instrumentos de ordenamiento marino-costero. Esto debe reflejarse concretamente en los planes de manejo de las AMERB y en los planes de administración de los ECMPO, para que la toma de decisiones esté informada por los escenarios climáticos futuros.
2. **Fortalecer la Gobernanza Policéntrica y la Justicia Socioambiental:** Se debe priorizar el fortalecimiento de mecanismos que aseguren la justicia procesal, el reconocimiento efectivo de derechos y la participación sustantiva de las comunidades locales y pueblos originarios. Articular los diferentes niveles de gobernanza es clave para gestionar conflictos, construir confianza y garantizar que los conocimientos locales sean un componente central en las estrategias de adaptación.
3. **Invertir en Capacidades Locales y Conocimiento Aplicado:** Es fundamental crear programas de financiamiento estables y ofrecer soporte técnico continuo para fortalecer las capacidades locales en áreas críticas como el monitoreo comunitario, la restauración ecológica y la gestión adaptativa. Estos programas deben validar e integrar activamente el conocimiento local y tradicional con la evidencia científica, potenciando la autonomía y efectividad de la gestión territorial.

Cómo citar esta sección:

Hernández-Miranda, E., Norambuena, R., Lagos, N., Manríquez, V., Krautz, M. C., Díaz-Cabrera, E., & Veas, R. (2026). *Iniciativas Exitosas desde Chile (AMERBs, Monitoreo Comunitario, Restauración).* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



6 Hoja de ruta para la adaptación transformadora

6.1. Sistema integrado de observación y priorización de acciones

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:
- Iván Pérez, Centro i-mar, Universidad de Los Lagos.
- Diego Narváez, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción; Centro COPAS Coastal, Universidad de Concepción.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

6.1.1. Diagnóstico del Sistema de Observación del Océano: Brechas Estructurales y Desafíos de Integración

La iniciativa del Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC) fue concebida como un esfuerzo estratégico para unificar y potenciar los diversos sistemas de monitoreo del país, con el fin de proporcionar datos continuos y de alta calidad sobre el estado del océano. Esta iniciativa se alinea con esfuerzos globales como el Sistema de Observación del Océano Global (GOOS) y la Década de las Ciencias Oceánicas de la ONU, que establecen el estándar internacional para el monitoreo climático. Sin embargo, a más de seis años de su formulación, el SIOOC permanece mayoritariamente en su Etapa I, enfocada en la integración de sistemas ya existentes. Este estancamiento constituye una limitación crítica que compromete la soberanía de datos y la capacidad de gestión de riesgos del Estado.

6.1.2. Desafíos Críticos

- **Déficit de Financiamiento Sostenido:** La principal brecha estructural que enfrenta el sistema de observación oceánica es la falta de un financiamiento permanente para el mantenimiento, la calibración y el recambio de instrumental. La dependencia de fondos concursables de corto plazo genera una alta vulnerabilidad, con consecuencias directas como la discontinuidad en series de tiempo cruciales para el monitoreo climático y la pérdida definitiva de equipamiento. Esta vulnerabilidad ha sido señalada de forma recurrente por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA), subrayando la urgencia de una solución estructural que garantice la sostenibilidad de la inversión pública y la capacidad de vigilancia sistemática del territorio marítimo.
- **Necesidad de Estandarización:** Un segundo desafío prioritario es la necesidad de establecer y aplicar protocolos de calibración estandarizados para todos los sensores del sistema de observación. La ausencia de estos estándares afecta la confiabilidad y la comparabilidad de los datos recolectados por distintas instituciones, dificultando su integración y mermando su valor para la ciencia y la política pública. El trabajo del Centro de Instrumentación Oceanográfica (CIO) en la estandarización de variables físicas representa un avance significativo, pero es imperativo expandir estas capacidades a variables biogeoquímicas clave (como pH, CO_2 y oxígeno disuelto) para asegurar la calidad de la información generada a nivel nacional.

6.1.3. Avances Recientes y Oportunidades Emergentes

A pesar del estancamiento en la integración general del SIOOC, diversos requerimientos específicos del Estado y proyectos de

investigación de excelencia han impulsado avances significativos en la capacidad de observación del océano en Chile. Estas iniciativas, aunque valiosas, han surgido de manera desarticulada y permanecen fragmentadas, operando en plataformas dispersas. No obstante, demuestran el potencial latente que podría ser catalizado por un sistema nacional coordinado.

- **Monitoreo para la Acuicultura:** En respuesta a requerimientos de SERNAPESCA, y en el marco del reglamento D.S. N° 1 de 2020, se ha implementado una red de 15 boyas oceanográficas en los fiordos y canales de la Patagonia para monitorear parámetros ambientales en zonas de concesiones acuícolas. Sus datos están disponibles públicamente a través de la plataforma CHONOS.
- **Apoyo a Operaciones Portuarias:** El proyecto *CDOM Portuario* ha instalado boyas en puertos estratégicos como Arica, Antofagasta y la bahía de Coronel, proporcionando datos en tiempo real para apoyar la seguridad y eficiencia de las operaciones marítimas y portuarias.
- **Exploración del Océano Profundo y Zonas Remotas:** Instituciones de excelencia como el Instituto Milenio de Oceanografía (IMO) y el Núcleo Milenio ESMOI han liderado la recolección de datos inéditos en ecosistemas de difícil acceso, incluyendo los fiordos patagónicos, la fosa de Atacama a más de 8.000 metros de profundidad, y las islas oceánicas.
- **Estudio de Eventos Extremos:** Diversos grupos de investigación han avanzado en la comprensión de fenómenos de alto impacto como las olas marinas de calor y frío (Pujol et al., 2022, 2025), los ríos atmosféricos (Garcia-Santos, Narvaez, Jacques-Coper, et al., 2025; Garcia-Santos, Narvaez, Saldías, et al., 2025) y las floraciones de algas nocivas (Díaz et al., 2021, 2023, 2025), mejorando la capacidad de análisis y pronóstico del país.

Esta paradoja -una creciente capacidad técnica que coexiste con una fragmentación sistémica- no representa un desafío técnico, sino una falla en la coordinación estratégica nacional. Sin una plataforma integradora, la inversión pública en estos sistemas avanzados rinde un beneficio marginal en lugar del valor exponencial que podría generar. La reactivación de la Etapa I del SIOOC es, por tanto, indispensable para unificar estas capacidades bajo una plataforma común y maximizar el valor estratégico de los datos generados para el país.

6.1.4. Beneficios Estratégicos y Componentes Críticos para la Soberanía de Datos

Un sistema de observación robusto e integrado es la base para ejercer soberanía efectiva sobre los datos generados en el país, permitiendo gestionar sus recursos de manera sostenible y fundamentar políticas públicas de largo plazo en evidencia científica sólida y confiable.

6.1.4.1. Beneficios

1. **Vigilancia Ambiental y Climática:** Proporciona un monitoreo continuo del estado ambiental, ecosistémico, sanitario, productivo y de conservación del océano, y de su respuesta frente a eventos ambientales y climáticos.
2. **Cumplimiento de Acuerdos Internacionales:** Requieren datos e informes de calidad, y con adecuada cobertura espacial y temporal.
3. **Fundamento para Políticas Públicas:** Ofrece la evidencia científica indispensable para el diseño, la implementación y la evaluación de políticas públicas orientadas tanto a la protección como al uso sostenible del océano y sus recursos, desde la pesca y la acuicultura hasta la conservación marina.
4. **Reducción de Riesgos Económicos:** Disminuye la incertidumbre para las actividades productivas y económicas asociadas al océano, como el transporte marítimo, el turismo y la energía, al proveer información para la gestión de riesgos operativos y climáticos.

6.1.4.2. Componentes Esenciales

Para materializar estos beneficios, un sistema integrado de observación requiere, como mínimo, la articulación de cuatro pilares técnicos y logísticos:

- Instrumental oceanográfico y meteorológico calibrado y operativo.

- Sistemas de transmisión de datos en tiempo real o casi real.
- Programas permanentes de mantención, calibración y recambio de equipamiento.
- Sistemas robustos de almacenamiento, respaldo y visualización de datos que garanticen su fácil acceso, uso y análisis por parte de la comunidad científica y los tomadores de decisiones.

Asegurar estos componentes es el primer paso para construir una soberanía de datos efectiva. El siguiente paso evolutivo es mirar más allá del océano, hacia una integración con los sistemas de observación terrestres.

La próxima frontera estratégica para la política científica en Chile reside en la potencialidad de articulación de los sistemas de observación oceánicos y terrestres. Esta integración permitiría una comprensión holística del continuo tierra-océano, un enfoque indispensable para anticipar y gestionar los efectos del cambio climático, proteger la biodiversidad y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas de los cuales depende el bienestar del país.

Conectar sistemas de monitoreo terrestre (como las redes FLUXNET o las misiones satelitales GEDI) con plataformas oceánicas como el SIOOC fortalecerían significativamente la capacidad nacional para evaluar riesgos compuestos, como el impacto combinado de sequías y eventos marinos extremos sobre las comunidades costeras. Esta sinergia habilitaría el desarrollo de políticas públicas más robustas e integradas, capaces de abordar los complejos desafíos socio-ecológicos del siglo XXI desde una perspectiva del sistema Tierra.

6.1.5. Recomendaciones

1. **Establecer un Financiamiento Basal y Sostenido:** Crear una línea de financiamiento estatal permanente destinada a la operación, mantenimiento, calibración y actualización del SIOOC. Esta medida es crucial para asegurar la continuidad de las series de tiempo y garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo.
2. **Reactivar la Gobernanza e Integración del SIOOC:** Impulsar la reactivación del comité de gobernanza del SIOOC con un mandato claro y recursos para ejecutar su Etapa I, enfocada en la integración de las plataformas de datos existentes bajo estándares y protocolos comunes.
3. **Desarrollar una Política Nacional de Datos Oceanográficos:** Formular e implementar una política que garantice el acceso abierto, la estandarización y la interoperabilidad de todos los datos oceanográficos generados con fondos públicos, con el fin de maximizar su reutilización y valor para la ciencia, el Estado y la sociedad.
4. **Fomentar la Articulación Interinstitucional:** Crear un mecanismo formal de colaboración entre las instituciones que generan datos oceánicos y terrestres para diseñar una hoja de ruta hacia un sistema de observación del sistema Tierra, enfocado en comprender el continuo tierra-océano y mejorar la evaluación de riesgos compuestos.

La consideración de implementación de estas recomendaciones transformaría la observación del océano de un conjunto de actividades científicas fragmentadas en un activo estratégico unificado, indispensable para la resiliencia climática y el desarrollo sostenible de Chile en el siglo XXI.

Cómo citar esta sección:

Pérez, I., & Narváez, D. (2026). *Sistema Integrado de Observación y Priorización de Acciones*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Síntesis de talleres regionales con la comunidad científica

Recuadro 5. Priorización y sostenibilidad de un sistema integrado de observación tierra-mar

Los talleres regionales coincidieron en la necesidad de avanzar hacia redes de monitoreo integradas y sostenidas en el tiempo, que combinen tecnologías avanzadas, estaciones de largo plazo y mecanismos de gobernanza interinstitucional. Se identificaron carencias en oceanografía operacional, discontinuidades en series temporales y falta de financiamiento permanente para el mantenimiento de sensores y plataformas, lo que compromete la continuidad y calidad de datos. Asimismo, se enfatizó la urgencia de establecer protocolos estandarizados y repositorios interoperables que permitan generar información comparable y robusta para sostener la planificación territorial y la gestión adaptativa.

En Valdivia, las propuestas se orientaron a soluciones como la incorporación de capacidades de oceanografía operacional en los planes sectoriales y la creación de un repositorio de datos de proyectos de investigación que centralice información y evite la duplicidad de esfuerzos y la pérdida de información. En Concepción se subrayó la importancia de la articulación entre el monitoreo de agua dulce y el marino, el fortalecimiento de redes de largo plazo y la integración del monitoreo costero colaborativo. Se destacó el valor de fuentes de información como los datos de la pesca artesanal y las boyas oceanográficas como insumos clave para evaluar vulnerabilidades a escala local. Estas diferencias regionales señalan demandas territoriales que requieren soluciones técnicas y de gobernanza adaptadas a contextos específicos, pero enmarcados en una estrategia nacional común.

Los y las participantes reconocieron la necesidad de priorizar monitoreos a corto y largo plazo, mejorar la integración de parámetros físico-bioquímicos y estandarizar los protocolos de calibración. También se alertó sobre la disponibilidad parcial de las plataformas existentes (por

ejemplo, centros de datos regionales) y la necesidad de implementar monitoreos específicos para fenómenos como el retroceso de glaciares, los episodios de hipoxia y el despliegue de boyas costeras. Estos insumos territoriales constituyen una base técnica para definir las prioridades de observación a nivel nacional y para diseñar los procesos de interoperabilidad y aseguramiento de la calidad, que son esenciales en un posible Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC) [3].

Orientaciones para la toma de decisiones:

- Se propone reconocer formalmente, en los instrumentos sectoriales y regionales, el rol del Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC) como el nodo de gobernanza encargado de facilitar la interoperabilidad de los datos y la coordinación institucional.
- Se identifica como relevante asegurar financiamiento estatal permanente para mantenimiento de la infraestructura, la calibración de sensores y la sustentabilidad de las series temporales, como condición para la confiabilidad del SIOOC.
- Se sugiere priorizar la incorporación de oceanografía operacional y redes de monitoreo de largo plazo en los planes de inversión tanto regionales como nacionales.
- Se sugiere estandarizar los protocolos de monitoreo y las prácticas de aseguramiento de la calidad a nivel nacional, y definir criterios de priorización que equilibren objetivos de corto y largo plazo para el monitoreo de variables críticas (temperatura, oxígeno disuelto, pH, parámetros glacio-marinos, entre otras).
- Se recomienda incorporar mecanismos de monitoreo colaborativo (comunidades costeras, pesca artesanal, boyas) y articular el seguimiento conjunto del continuo agua dulce-mar, como una estrategia para mejorar la detección temprana de impactos y la atribución de sus causas.

3 Visión Integrada de Datos, Información y Monitoreo del Cambio Climático, Comité Científico de Cambio Climático (2021)

6.2. Transición productiva sostenible (pesca, acuicultura, energía, minería submarina)

Este apartado se basa en los aportes de:
Autores:

- Enzo Acuña, Departamento de Biología Marina, Universidad Católica del Norte.
- Jaime Letelier, Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

6.2.1. Actividad Pesquera y Acuícola: Adaptación ante la Incertidumbre Climática

El sector pesquero y acuícola es un pilar socioeconómico fundamental para Chile, sustentando a más de 121.571 pescadores artesanales y generando alrededor de 30.000 empleos vinculados directa e indirectamente a la pesca industrial, más de 1.000 empresas asociadas a la acuicultura y 499 Áreas de Manejo (SERNAPESCA, 2021; SUBPESCA, 2023, 2024a, 2024b). Históricamente, su gobernanza se ha basado en la relativa estabilidad de los ciclos naturales, pero el cambio climático está alterando esta premisa fundamental, exigiendo una reevaluación estratégica. La evidencia de esta disrupción es innegable: eventos El Niño (2015/16 y 2023/24) han desplazado biomasas clave como la anchoveta y la sardina, dejándolas fuera del alcance de las flotas. Simultáneamente, el ecosistema muestra un aumento de floraciones algales nocivas, una disminución de la productividad del océano que afecta recursos como moluscos y algas, y varazones masivas asociados a eventos La Niña (2019-2022) por el ascenso de aguas bajas en oxígeno (SERNAPESCA, 2021). Desde 2014, el sistema ha mostrado alteraciones imprevistas, como cambios en la dominancia de especies y el estado crítico de pesquerías estratégicas, con la merluza del sur en sobrepesca y la merluza de cola y de tres aletas en condición de agotada (SUBPESCA, 2024a).

Recomendaciones:
Ante este escenario de incertidumbre sistémica, Chile debe pivotar desde una gestión estática hacia un marco adaptativo que incorpore la variabilidad climática en la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo. Esto exige adoptar estrategias más flexibles con un sólido enfoque ecosistémico y precautorio, fortaleciendo la investigación científica para monitorear, predecir y mitigar los impactos socioeconómicos. Si bien instrumentos fundacionales como el Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático y la nueva propuesta de Ley de Pesca comienzan a abordar esta realidad, su verdadero valor será determinado por una implementación ágil y efectiva, capaz de anticiparse a la aceleración de los impactos climáticos. La adaptación de los sectores existentes debe ir de la mano con una evaluación rigurosa de nuevas fronteras productivas, donde el principio precautorio es aún más relevante.

6.2.2. Minería Submarina: El Dilema entre Potencial Económico y Liderazgo en Conservación

La creciente demanda mundial de minerales críticos, impulsada por la transición energética y la electromovilidad, posiciona a la minería submarina como una potencial actividad económica futura. Para Chile, esto presenta un profundo dilema estratégico: cómo conciliar su rol como líder global en conservación marina con la oportunidad de explotar los vastos recursos minerales que yacen en sus fondos marinos.

El fondo marino chileno alberga Minerales Críticos como Nódulos Polimetálicos, Cortezas Ricas en Cobalto y Depósitos Polimetálicos de Sulfuros, ricos en manganeso, níquel, cobre y cobalto, esenciales para la descarbonización (Villar-Muñoz et al., 2024; García et al., 2020).

La actividad ofrece la posibilidad de desarrollar y exportar tecnología y capital humano, apalancando la vasta experiencia de la minería terrestre nacional para crear una nueva industria de vanguardia. Sin embargo, Chile lidera una moratoria internacional, argumentando que la explotación debe aplazarse hasta contar con un código ambiental robusto y evidencia científica suficiente para proteger los ecosistemas de aguas profundas (Weidenslaufer & Loiseau, 2023). Adicionalmente, la actividad carece de un marco legislativo nacional específico. Su desarrollo futuro debe enmarcarse estrictamente bajo los principios de la CONVEMAR y la regulación de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (AIFM/ISA).

Existe un consenso claro en que cualquier avance en esta área debe ser condicionado y guiado por el principio precautorio.

Recomendaciones

1. **Tener Sustento Científico**, exigiendo que cualquier avance se base en investigación científica independiente, pública y transparente, financiada por el Estado y no por empresas con intereses comerciales directos;
2. **Desarrollo Tecnológico,** que permita fomentar activamente tecnologías de exploración y eventual explotación que garanticen un bajo impacto ambiental y protejan la biodiversidad marina.
3. **Marco Legal Robusto,** a partir del desarrollo una legislación nacional específica y rigurosa antes de considerar cualquier tipo de explotación comercial, asegurando los más altos estándares de protección ambiental, manteniendo la moratoria y principio precautorio.

6.2.3. Energía Marina: Un Potencial para la Descarbonización de Chile

El océano chileno representa una de las mayores reservas de energía renovable sin explotar del planeta, con un potencial estimado en más de 300 GW, cifra que supera con creces la capacidad eléctrica total instalada en tierra y se sustenta principalmente en la energía de olas (undimotriz) y de corrientes de marea (mareomotriz) (Cruz et al., 2009), con la posibilidad de incorporar como complemento la energía eólica sobre la plataforma continental (Shadman et al., 2023). El gobierno reconoce este recurso como un pilar estratégico para avanzar en la descarbonización y diversificar la matriz energética nacional, con tres tecnologías principales perfilándose como las más prometedoras.

- **Energía Undimotriz (Olas):** Representa el mayor aporte potencial a la matriz energética nacional. Aunque su tecnología se encuentra en una etapa inicial de desarrollo a nivel global, Chile ha avanzado significativamente en su diagnóstico. Gracias a iniciativas como la del centro de investigación MERIC, que implementó su prototipo experimental en la costa de Valparaíso (Cortés et al., 2022) y Universidad de Valparaíso, que mantiene un sistema de monitoreo de oleaje y un atlas nacional de oleaje (Beyá et al., 2016), el país cuenta con una evaluación consolidada de su recurso y está estratégicamente posicionado para adoptar e implementar la tecnología una vez que esta alcance la madurez comercial.
- **Energía Mareomotriz (Mareas):** Es la segunda fuente en magnitud de potencial, pero destaca por su alta predictibilidad y disponibilidad continua, superando a otras energías renovables intermitentes. Su viabilidad técnica y energética ha sido evaluada con éxito en la zona sur-austral, particularmente en el Canal de Chacao (Soto-Rivas et al., 2022; Villalón et al., 2019) y el Estrecho de Magallanes, con posibilidad de expansión hacia otras angosturas desde Puerto Montt al sur (Suarez et al., 2024, 2025), donde las fuertes corrientes de marea ofrecen una fuente de energía constante y fiable.

- **Energía Eólica Marina (Offshore wind):** Esta es una de las tecnologías más prometedoras y maduras a nivel global. El potencial técnico solo para esta fuente alcanza los 957 GW, superando con creces las estimaciones más conservadoras del potencial marino total del país. El principal desafío para su despliegue masivo radica en la geografía costera de Chile, caracterizada por una plataforma continental estrecha, lo que exige el uso de tecnologías flotantes (Tampier et al., 2024; Neira et al., 2021; De Linaje et al., 2019; ESMAP, 2019; World Bank, 2020). A pesar de ello, ya existen avances concretos, como un proyecto de factibilidad en la bahía de Concepción (Neira et al., 2021) y una solicitud de permisos para instalar el primer parque eólico marino frente a la costa de Valparaíso.

6.2.4. Recomendaciones

Para materializar este gigantesco potencial, es fundamental una articulación efectiva entre las políticas públicas, la inversión privada y el desarrollo de capacidades técnicas y regulatorias. El desafío consiste en crear un marco que permita pasar de los proyectos piloto a una escala operativa que contribuya de manera significativa a la matriz energética nacional, consolidando el liderazgo de Chile en la transición hacia una economía descarbonizada. Esta visión integrada es crucial para un desarrollo oceánico sostenible.

6.2.5. Conclusión: Hacia una Gobernanza Oceánica Integrada

Los análisis de los sectores de pesca, minería submarina y energía marina convergen en un llamado a la acción inequívoco: Chile debe establecer una política de Estado para el océano que sea proactiva, integrada y con visión de futuro. Los enfoques fragmentados ya no son viables frente a un cambio climático sistémico. El hilo conductor que une las recomendaciones es la urgencia de una gobernanza que internalice la adaptación climática como pilar estratégico, aplique rigurosamente el principio precautorio ante actividades de alto riesgo y fomente la ciencia y la tecnología como motores de la innovación sostenible. A través de esta visión holística, Chile podrá enfrentar la incertidumbre y transformar sus desafíos oceánicos en una oportunidad para una transición productiva que sea, a la vez, próspera y duradera.

Cómo citar esta sección:

Acuña, E., & Letelier, J. (2026). *Transición Productiva Sostenible (Pesca, Acuicultura, Energía, Minería Submarina)*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.



7 Conclusiones y recomendaciones

7.1. Recomendaciones para gobernanza multinivel y lineamientos para actualización de políticas intersectorial

Este apartado se basa en los aportes de:
Autora:

- Jeanne W. Simon, Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

En el actual escenario de políticas públicas, la gobernanza climática exige un enfoque integral y coordinado. Conceptos como la transversalización (*mainstreaming*) y la gobernanza multinivel se han consolidado como herramientas analíticas cruciales para evaluar la capacidad institucional de Chile frente a desafíos complejos y multicausales, particularmente en el nexo océano-clima-biodiversidad. Estos enfoques son indispensables para diagnosticar la tensión inherente al modelo chileno: un andamiaje institucional centralizado que choca con la necesidad de respuestas climáticas territorialmente pertinentes y ágiles.

Dado el número limitado de investigaciones que abordan de manera explícita la gobernanza en el ámbito costero-marino chileno, este análisis se nutre de la literatura reciente (2021-2025) sobre cambio climático y adaptación. El objetivo es extraer aprendizajes transferibles que permitan fortalecer la respuesta del país a los impactos climáticos en sus extensas zonas costeras y marinas.

7.1.1. Desafíos y Oportunidades para la Acción Climática en Chile

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC (2022) subraya que una gobernanza multinivel y policéntrica, con una amplia participación de actores no gubernamentales, es una condición indispensable para lograr respuestas efectivas y justas al cambio climático. En este contexto, es imperativo construir una gobernanza robusta, fundamentada en la adaptación flexible y la innovación proactiva, que permita mantener las funciones y valores públicos esenciales en un entorno de creciente incertidumbre (Torfing et al., 2025).

7.1.1.1. Barreras Estructurales para una Gobernanza Climática Efectiva

El análisis revela un patrón de barreras sistémicas que reflejan las resistencias institucionales y culturales inherentes a un Estado centralizado, las cuales se manifiestan en los siguientes puntos críticos:

- **Fragmentación y Centralización:** La estructura de Estado unitario de Chile, caracterizada por una fragmentación vertical y una centralización excesiva de las decisiones, limita la participación de los actores locales y debilita la efectividad de la gobernanza climática. Como demuestran estudios en la Región de Aysén (Simon & Muñoz, 2025), este modelo dificulta la articulación de respuestas adaptadas a las realidades territoriales, un desafío que, si bien presente en diversas estructuras de gobernanza, se intensifica en el contexto del Estado unitario chileno.
- **Brecha entre Planificación y Ejecución:** Existe una notoria brecha entre la capacidad sistémica diseñada a nivel nacional y las capacidades reales a nivel territorial para implementar la acción climática. Estudios en Chile y

Canadá identifican barreras recurrentes a nivel subnacional, como el financiamiento limitado, la débil coordinación intersectorial y la falta de conocimiento técnico especializado (St-Laurent et al., 2021).

- **Limitaciones Sectoriales Específicas:** En el sector de pesca y acuicultura, las barreras son particularmente agudas. Investigaciones recientes (Simon & Muñoz, 2025; Engler, 2024) señalan que los recursos financieros son insuficientes y el marco regulatorio es fragmentado, rígido y poco estratégico para enfrentar un contexto de cambio climático.
- **Incertidumbre Conceptual:** La falta de claridad en definiciones clave puede generar incertidumbre y obstaculizar la coordinación. Un ejemplo es la transición conceptual de "borde costero" a "zona costera", que ha generado confusiones que dificultan su implementación, aunque el Anteproyecto de la Política Nacional Costera busca resolver esta ambigüedad al definir la zona costera como una unidad territorial más amplia e integradora.

7.1.1.2. Facilitadores y Oportunidades para Fortalecer la Capacidad Adaptativa

A pesar de las barreras, existen factores y mecanismos que pueden catalizar una gobernanza climática más robusta y efectiva. La evidencia sugiere que una **gobernanza multinivel robusta,** caracterizada por la confianza, la comunicación fluida y el aprendizaje compartido entre múltiples nodos de decisión, es fundamental para apoyar iniciativas basadas en el aprendizaje compartido y conocimiento *in situ* (Heinen et al., 2022). Los Planes de Acción Regional de Cambio Climático (PARCC) emergen como una herramienta con gran potencial para fomentar la coordinación horizontal entre el gobierno regional, los municipios y los organismos desconcentrados del gobierno central, aunque se reconoce que la calidad de estos planes varía significativamente entre territorios (King, 2022; Rogers et al., 2023). Adicionalmente, el liderazgo subnacional visionario y la implementación de proyectos piloto han demostrado ser catalizadores clave para conectar escalas de gobernanza y promover el aprendizaje colectivo. Finalmente, la integración de recursos culturales y territoriales en los planes de acción, puede generar sinergias, reducir la fragmentación institucional y favorecer una transversalización más efectiva de las capacidades, como demuestran Guzmán & Daly (2025).

En conjunto, estos hallazgos revelan que, si bien las barreras estructurales son desafiantes, existen catalizadores subnacionales y herramientas de planificación concretas capaces de generar la tracción necesaria para una gobernanza climática más resiliente, lo que fundamenta las siguientes recomendaciones.

7.1.2. Recomendaciones

1. **Fortalecer la Coherencia Sectorial en la Planificación Territorial:** Se sugiere que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) establezca estrategias para aumentar su aporte técnico y financiero en la elaboración de los planes de acción regionales y comunales de cambio climático. Esto es crucial para asegurar la coherencia entre estos instrumentos y las decisiones de los Comités de Manejo.
2. **Impulsar la Capacidad Analítica Regional:** Se recomienda que el Equipo Técnico Interministerial de Cambio Climático (ETICC), en colaboración con universidades e instituciones de educación superior, establezca una oferta de programas de capacitación en cada región. El objetivo es construir capacidad analítica enfocada en el nexo océano-clima-biodiversidad, facilitando la integración de recursos y conocimientos culturales-territoriales en la puesta en práctica de los planes de acción regional y comunal.
3. **Evaluar y Mejorar el Marco Institucional Costero:** Se sugiere que la Comisión Nacional de Uso del Borde Costero evalúe el marco institucional propuesto en la Política Nacional Costera, con el fin de establecer

mecanismos que faciliten la integración de conocimientos y promuevan una coordinación efectiva entre organismos sectoriales, gobiernos regionales, municipios y actores no gubernamentales.

4. **Establecer Canales de Comunicación Bidireccionales:** Se recomienda que las organizaciones sectoriales territorialmente desconcentradas, como el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Sernapesca), establezcan canales de comunicación bidireccionales y efectivos con los actores locales. Esto permitirá articular respuestas proactivas, adaptativas y pertinentes desde los territorios para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Cómo citar esta sección:

Simon, J. W. (2026). *Recomendaciones para Gobernanza Multinivel y Lineamientos para Actualización de Políticas Intersectoriales*. En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

7.2. Rol de Chile en iniciativas globales (océanos, biodiversidad)

Este apartado se basa en los aportes de:
Autor:

- Carlos Olavarría, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).

Para consultar el texto completo ver "Informe Temático. Compilado De Contribuciones"

7.2.1. El Legado Histórico de Chile como Pionero en la Gobernanza Oceánica

La biodiversidad marina constituye la base estructural que sostiene el funcionamiento de los océanos y la provisión de servicios ecosistémicos vitales para la humanidad. Desde el oxígeno que respiramos y el almacenamiento de carbono hasta los alimentos que consumimos, su preservación es fundamental. Sin embargo, la acción humana -principalmente a través de la sobreexplotación, la destrucción de hábitats y la contaminación- ha incrementado la presión sobre estos ecosistemas, generando una necesidad imperiosa de establecer marcos de gobernanza efectivos (Lotze, 2021).

En este contexto, Chile emergió como un actor pionero a nivel global. A fines de la década de 1940, lideró la creación del concepto de "Zona Económica Exclusiva" (ZEE) con el objetivo de extender su control soberano más allá del tradicional mar territorial. Esta iniciativa, formalizada en 1947, surgió como una respuesta estratégica para proteger y gestionar sus recursos marinos (Kibel, 2000), en particular las poblaciones de cetáceos, frente a la creciente presión de la pesca internacional.

La visión chilena, a la que se unieron Perú y Ecuador en 1957, sentó un precedente que fue consagrado décadas más tarde en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 (CONVEMAR). Este tratado internacional formalizó la ZEE, estableciendo un equilibrio crucial: otorgó a los Estados ribereños derechos exclusivos para la exploración y administración de los recursos naturales en una franja de hasta 200 millas náuticas, pero también les impuso la obligación de garantizar su conservación, basando la gestión en la mejor evidencia científica disponible para evitar la sobreexplotación (Cloutier de Repentigny, 2023). Este legado histórico posicionó a Chile como un actor clave y anticipado en la diplomacia oceánica, un rol que ha seguido consolidando en las décadas posteriores.

7.2.2. Compromiso de Chile en el Marco de Acuerdos Globales para la Conservación

Tras el establecimiento de la CONVEMAR, la comunidad internacional desarrolló una serie de acuerdos multilaterales para abordar amenazas específicas a la biodiversidad marina, tanto a nivel de especies como de ecosistemas. Chile ha demostrado un compromiso continuo al participar activamente en estos marcos regulatorios, reforzando su rol como un Estado comprometido con la protección oceánica. Su participación en acuerdos clave ilustra esta trayectoria:

- **Convención Internacional para la Regulación de la Caza de Ballenas:** Ratificada por Chile en 1979, esta convención marcó una transición fundamental en la gobernanza de los cetáceos. Aunque su propósito inicial era regular la industria ballenera mediante cuotas, la posterior adopción de una moratoria sobre la caza comercial (vigente desde la temporada 1985/86) la transformó en una prohibición de facto, reflejando un cambio global desde un enfoque de mercado hacia una agenda centrada en la conservación (Jefferies & Latos, 2025).
- **Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB):** Como parte de esta convención desde 1994, Chile se adhirió al primer acuerdo global enfocado en la conservación integral de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa de los beneficios derivados de los recursos genéticos.

- **Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de animales Silvestres (CMS):** Este acuerdo se enfoca en proteger especies a lo largo de sus rutas migratorias y hábitats críticos. La participación de Chile es particularmente relevante en instrumentos derivados como el Acuerdo para la Conservación de Albatros y Petreles (Cooper et al., 2006), una respuesta directa a la problemática de la captura incidental de estas aves en la industria pesquera nacional.

La participación consistente de Chile en estos acuerdos demuestra una política exterior coherente con su legado histórico, sentando las bases para asumir un liderazgo aún más prominente frente a los desafíos contemporáneos que enfrenta el océano.

7.2.3. La Agenda Oceánica Actual: Desafíos y Oportunidades Estratégicas para Chile

La gobernanza oceánica actual se desarrolla en un contexto de urgencia, marcado por la crisis climática y la necesidad de una acción coordinada a través de nuevas y ambiciosas plataformas globales. Para Chile, este escenario presenta tanto desafíos fundamentales como oportunidades estratégicas para consolidar su liderazgo.

7.2.3.1. Desafíos

1. **Amenazas Persistentes:** Los ecosistemas marinos continúan enfrentando los efectos acumulativos de múltiples estresores, como el cambio climático, la contaminación y la sobreexplotación. Entender y desarrollar soluciones para monitorear, proteger y restaurar la biodiversidad bajo estas condiciones cambiantes, tal como lo plantea el Desafío 2 del Decenio de las Ciencias Oceánicas de la ONU, sigue siendo un reto mayúsculo.
2. **Incertidumbre de Implementación**: A pesar del hito que representa el Acuerdo sobre la Biodiversidad Marina más allá de la Jurisdicción Nacional (BBNJ), conocido como el Tratado Global de los Océanos, adoptado en 2023, persiste una incertidumbre significativa sobre su efectividad real una vez que entre en vigor. Garantizar que sus disposiciones se traduzcan en una protección tangible de la alta mar será un desafío clave de gobernanza.

7.2.3.2. Oportunidades de Liderazgo

1. **Consolidación del Liderazgo en el Tratado BBNJ**: Chile no sólo fue un impulsor clave del tratado, sino que se convirtió en el segundo país del mundo en ratificarlo. El impulso global se materializó en septiembre de 2025, cuando se alcanzaron las 60 ratificaciones necesarias para su entrada en vigor. En este contexto de *momentum*, la postulación formal de Chile para que Valparaíso albergue la secretaría permanente del BBNJ representa una oportunidad única para consolidar su influencia diplomática y posicionarse como un centro neurálgico para la gobernanza oceánica global.
2. **Integración de la Acción Océano-Clima:** La iniciativa *"Blue Package"*, protagonista en la COP30 celebrada en Belém, Brasil, en noviembre de 2025, ofrece un marco para que los países integren formalmente la acción oceánica en sus compromisos climáticos. Para Chile, esto representa una oportunidad estratégica para alinear su política de conservación marina con su agenda climática, adoptando el espíritu del *"Blue Mutirão"*: un movimiento colectivo de gobiernos, comunidades, innovadores y ciudadanía trabajando de manera conjunta por la salud del océano (Scherer, 2025).
3. **Fortalecimiento de la Base Científica Nacional:** El Plan Oceanográfico Nacional 2021-2030, desarrollado como respuesta de Chile al Decenio de los Océanos de la ONU, proporciona la hoja de ruta para fortalecer la ciencia y la gestión sostenible de sus ecosistemas marinos (Bender et al., 2022; Muller-Karger et al., 2024). La implementación efectiva de este plan permitirá generar el conocimiento necesario para enfrentar los estresores ambientales y fundamentar políticas públicas basadas en la mejor evidencia disponible.

El manejo proactivo de estos desafíos y la capitalización de estas oportunidades serán determinantes para el futuro del liderazgo oceánico de Chile, lo que conduce a la formulación de recomendaciones de política pública concretas.

7.2.4. Recomendaciones

1. **Capitalizar el Impulso del Tratado BBNJ:** Chile debe intensificar su campaña diplomática para asegurar que Valparaíso sea la sede de la secretaría del tratado. Paralelamente, debe liderar los esfuerzos regionales para garantizar una implementación rápida y efectiva del BBNJ una vez que entre en vigor el 17 de enero de 2026, posicionándose como un articulador clave para el desarrollo de capacidades en América Latina.
2. I**ntegrar Formalmente el "Blue Package" en la Estrategia Climática Nacional:** Se aconseja incorporar explícitamente los objetivos de conservación marina del *"Blue Package"* en las próximas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) de Chile. Esta acción solidificará el vínculo tangible y medible entre la política oceánica y la agenda climática, demostrando un compromiso integral y abriendo nuevas vías de financiamiento y colaboración internacional en la interfaz océano-clima.
3. **Acelerar la Implementación del Plan Oceanográfico Nacional:** Es imperativo asegurar la plena ejecución del Plan Oceanográfico Nacional 2021-2030, asignando los recursos necesarios para fortalecer la investigación científica. El foco debe estar en entender los efectos de los estresores múltiples sobre los ecosistemas marinos chilenos y en desarrollar soluciones innovadoras para la protección, gestión y restauración de la biodiversidad, en línea con los objetivos del Decenio de los Océanos de la ONU.

Cómo citar esta sección:

Olavarría, C. (2026). *Rol de Chile en Iniciativas Globales (Océanos, Biodiversidad).* En: Comité Científico Asesor de Cambio Climático (Eds.), "*Informe Temático. Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile*". Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

Comentarios finales

El Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad (OCB), articulado con rigor en este informe, revela no solo la magnitud de la crisis que enfrenta Chile y sus consecuencias actuales y potenciales, sino también el potencial para generar respuestas integradas y basadas en evidencia frente a los desafíos del cambio global. Desde la desoxigenación y acidificación del Sistema de la Corriente de Humboldt hasta el retroceso los glaciares y la hipermegasequía que afecta la zona central del país, los riesgos compuestos y puntos de quiebre identificados demandan una acción inmediata y coordinada, que trascienda lo sectorial y priorice la resiliencia socioecológica.

Las vulnerabilidades expuestas en ecosistemas claves, comunidades costeras y sistemas productivos pueden transformarse en oportunidades cuando se alinean con la implementación de soluciones basadas en la naturaleza y una gobernanza ad hoc que incorpore tanto el conocimiento local como la ciencia de frontera. A nivel político, urge institucionalizar el enfoque del Nexo OCB en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), priorizando un financiamiento estable para que Chile posea un Sistema Integrado de Observación del océano, costa y continente, así como la integración de planes sectoriales (pesca, acuicultura, minería, transporte, salud, entre otros). Asimismo, es necesario fortalecer instrumentos como las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) y la Planificación Espacial Marina (PEM) mediante decretos que resuelvan conflictos de uso y garanticen justicia socioambiental en la toma de decisiones.

Chile, con su liderazgo pionero en la agenda oceánica global -—demostrado desde la creación temprana de su Zona Económica Exclusiva (ZEE) hasta la ratificación del Tratado sobre la Biodiversidad Marina más allá de las Jurisdicciones Nacionales (BBNJ) y su rol en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)-—, posee una plataforma única para posicionarse como referente internacional en adaptación marina. Del mismo modo, la reciente aprobación y actual implementación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) representa un avance en la coordinación institucional con enfoque climático, ya que busca preservar, restaurar y conservar la biodiversidad, los ecosistemas y el patrimonio natural, y con ello los servicios ecosistémicos que contribuyen a la adaptación y mitigación del cambio climático.

Este informe provee recomendaciones de políticas concretas para que el país no solo cumpla, sino que lidere la acción climática a nivel mundial. Algunas recomendaciones en las que varios autores coinciden incluyen:

- Articular una gobernanza multisectorial y multinivel con enfoque de cambio climático y justicia social.
- Realizar monitoreos integrados de ecosistemas marinos, costeros y terrestres, evaluando tanto variables ambientales como antrópicas.
- Aplicar una planificación territorial vinculante, con enfoque de cambio climático y que considere los saberes indígenas y locales.
- Evaluar en forma integrada la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza y su implementación a través de los mecanismos de subsidios y financiamientos del Estado.
- Generar indicadores que asocien el efecto climático con el resultado socioeconómico, con el fin de traducir directamente las variables geofísicas y marinas en costos sociales y medidas de mitigación rápidas.

El llamado final es a consolidar una visión compartida que posicione a Chile como referente en adaptación transformadora. Implementar estas recomendaciones políticas no es solo una necesidad técnica, sino un imperativo ético para garantizar que el océano y la biodiversidad contenida en nuestros ecosistemas sigan sosteniendo la economía y la identidad chilena en las décadas venideras. La ciencia aquí presentada son los cimientos; queda en manos de la sociedad y sus líderes políticos construir sobre ellos.

Comité Científico Asesor de Cambio Climático

Agradecimientos

Este informe se enmarca en el trabajo del Comité Científico Asesor de Cambio Climático y su Secretaría Técnica, provista por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Su elaboración fue posible gracias al apoyo técnico internacional recibido desde el NDC Partnership, a través de su Partnership Action Fund (PAF) N° PAF24Q4-UNEP-CHL-BA-003, ejecutado por el Programa de las Nacionales Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), que permitieron la realización de los Diálogos Científicos por la Acción Climática de Chile 2025 y la elaboración de esta serie de informes temáticos. Agradecemos a todas las personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo de estos encuentros, los cuales permitieron reunir a actores diversos y recoger perspectivas desde los territorios para fortalecer las estrategias climáticas del país sobre la base de la evidencia científica.

Expresamos un reconocimiento especial a las instituciones que brindaron apoyo en la organización y desarrollo de estas instancias: Universidad de Concepción, PAR Explora, Nodo CTCI Centro Sur, Universidad San Sebastián, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Nodo CIVAL, Parque Científico Tecnológico de la Universidad Católica del Norte, Nodo Salares, Instituto Sagrada Familia de Punta Arenas y Nodo Laboratorio Natural Subantártico.



Referencias

Aburto, J., Gallardo, G., Stotz, W., Cerda, C., Mondaca, J., & Vera, K. (2013). Territorial user rights for artisanal fisheries in Chile: Intended and unintended outcomes. *Ocean & Coastal Management*, *71*, 284-295. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.016

Aburto, J., Ojea, E., Arthur, J., Contreras, F., & Ramajo, L. (2024). Social climate resilience: Evidence from a traditional surf clam fishery community in Chile. *Ocean and Coastal Management*, *259*, 107435. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107435

ACHM. (2025). *Financiamiento Climático—Instrumentos Financieros*. Asociación Chilena de Municipalidades (ACHM). https://www.achm.cl/wp-content/uploads/2025/06/FINANCIAMIENTO-CLIMATICO.pdf

Aguilar, G., Contreras, C., & Lucero, J. (2024). Desafíos del cambio climático y el derecho a una alimentación adecuada sostenible: Reflexiones sobre el panorama chileno. *Revista de Derecho Ambiental*, *22*, 165-206. https://doi.org/10.5354/0719-4633.2024.75360

Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático. Principios y consideraciones metodológicas. *Afroecología*, *8*(1), 7-20.

Anbleyth-Evans, J., Hiriart-Bertrand, L., Araos Leiva, F., Iwama, A. Y., & Henriquez-Antipa, L. (2025). Enhancing Bio-Cultural Management in Indigenous Marine Areas in Chile. *The Journal of Environment & Development*, *34*(2), 368-398. https://doi.org/10.1177/10704965241271302

Anbleyth-Evans, J., Leiva, F. A., Rios, F. T., Cortés, R. S., Häussermann, V., & Aguirre-Munoz, C. (2020). Toward marine democracy in Chile: Examining aquaculture ecological impacts through common property local ecological knowledge. *Marine Policy*, *113*, 103690. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103690

Araos, F., Catalán, E., Álvarez, R., Núñez, D., Brañas, F., & Riquelme, W. (2020). Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios: Usos consuetudinarios y conservación marina. *Anuário Antropológico*, *45*(1), 47-68. https://doi.org/10.4000/aa.4933

Araos, F., Diestre, F., Cursach, J., Almonacid, J., Riquelme, W., Brañas, F., & Oyarzún, C. (2024). Sentinels of Carelmapu: Participatory community monitoring to protect Indigenous marinescapes in Southern Chile. *Climate Justice and Participatory Research: Building Climate-Resilient Commons*.

Araos, F., Saldívar, J. M., Lazo, A., & Ther-Ríos, F. (2019). Diálogos antropológicos para descifrar la crisis socioambiental en Chiloé. *Cultura-hombre-sociedad*, *29*(1), 407-436. https://doi.org/10.7770/0719-2789.2019.cuhso.02.a07

Armijo, J., Oerder, V., Auger, P. A., Bravo, A., & Molina, E. (2020). The 2016 red tide crisis in southern Chile: Possible influence of the mass oceanic dumping of dead salmons. *Marine Pollution Bulletin*, *150*, 110603.

Asokan, A. (2024). Marine protected areas as a tool for environmental justice. *Frontiers in Marine Science*, *11*, 1478023. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1478023

Bambach, N. E., Rhoades, A. M., Hatchett, B. J., & et al. (2021). Projecting climate change in South America using variable-resolution Community Earth System Model: An application to Chile. *International Journal of Climatology*, *42*(4), 2514-2542. https://doi.org/10.1002/joc.7379

Baquedano, M., Chávez, C., Dresdner, J., & Eggert, H. (2025). The Rise of Mussel Aquaculture in Chile: Causes, Effects, and Challenges. *Reviews in Aquaculture*, *17*(3), e70045. https://doi.org/10.1111/raq.70045

Barcaza, G., Nussbaumer, S. U., Tapia, G., Valdés, J., García, J.-L., Videla, Y., Albornoz, A., & Arias, V. (2017). Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. *Annals of Glaciology*, *58*(75pt2), 166-180. https://doi.org/10.1017/aog.2017.28

Barceló, M., Woodhead, A. J., & Gelcich, S. (2025). Exploring adaptive capacity at the land-sea interface: Insights from coastal rural communities in Chile. *Ecology and Society*, *30*(2), 4. https://doi.org/10.5751/ES-15893-300204

BCN. (2020). *Ley 21.202: Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos.* Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). https://bcn.cl/2cvha

BCN. (2023). *Instrumentos para enfrentar el Cambio Climático.* Biblioteca del Congreso Nacional (BCN).

Benavente-Bargetto, M. J. (2020). Diversidad, conflictos, confianza y aprendizaje social en la Gobernanza Colaborativa. *Revista Enfoques Ciencia Política y Administración Pública*, *18*(33), 1-25.

Bender, M., Bustamante, R., & Leonard, K. (2022). Living in relationship with the Ocean to transform governance in the UN Ocean Decade. *PLOS Biology*, *20*(10), e3001828.

Bennett, N., López de la Lama, R., Le Billon, P., Ertör, I., & Morgera, E. (2023). Ocean defenders and human rights. *Frontiers in Marine Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1089049

Bertrand, A., Chaigneau, A., Peraltilla, S., Ledesma, J., Graco, M., Monetti, F., & Chavez, F. P. (2012). Correction: Oxygen: A Fundamental Property Regulating Pelagic Ecosystem Structure in the Coastal Southeastern Tropical Pacific. *PLOS ONE*, *7*(2), 10.1371/annotation/891b6bd0. https://doi.org/10.1371/annotation/891b6bd0-185f-4f5f-9f0c-d2408a31f7f4

Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., & Valdivia, J. (2016). *Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición*.

Biskupovic, N., Brevid, M., Fernández, A., & Campos, K. (2024). *Abordajes de la gestión del riesgo de desastres y acción climática a nivel comunal*. Policy brief.

Boyd, P. W., Bach, L. T., Hurd, C., Paine, E., Raven, J. A., & Tamsitt, V. (2022). Potential negative effects of ocean afforestation on offshore ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, *6*(6), 675-683. https://doi.org/10.1038/s41559-022-01722-1

Brienen, R. J. W., Phillips, O. L., Feldpausch, T. R., Gloor, E., Baker, T. R., Lloyd, J., & Vásquez, R. (2020). Forest carbon sink neutralized by pervasive growth-lifespan trade-offs. *Nature Communications*, *11*, 424. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17966-z

Bugueño Fuentes, Z. (2021). De la Gestión Litoral a la Gobernanza Litoral. *Revista Geografía Norte Grande*, *78*, 115-136.

Bularz, B., Fernández, M., Subida, M. D., Wieters, E. A., & Pérez-matus, A. (2022). Effects of harvesting on subtidal kelp forests (Lessonia trabeculata) in central Chile. *Ecosphere*, *13*.

Büntgen, U., Krusic, P. J., Piermattei, A., Coomes, D. A., Esper, J., Myglan, V. S., & Kirdyanov, A. V. (2019). Limited capacity of tree growth to mitigate the global greenhouse effect under predicted warming. *Nature Communications*, *10*, 217. https://doi.org/10.1038/s41467-019-10174-4

CAF. (2024). *CAF alcanzará el 35% de financiamiento verde en 2024*. Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/caf-alcanzara-el-35-de-financiamiento-verde-en-2024/

Cameron, K. A., Stibal, M., Hawkings, J. R., Mikkelsen, A. B., Telling, J., Kohler, T. J., Gözdereliler, E., Zarsky, J. D., Wadham, J. L., & Jacobsen, C. S. (2017). Meltwater export of prokaryotic cells from the Greenland ice sheet. *Environmental Microbiology*, *19*(2), 524-534. https://doi.org/10.1111/1462-2920.13483

Camus, P. A., Vásquez, J. A., & Castilla, J. C. (2018). Coastal marine ecology in Chile: Current status, challenges and future perspectives. *Revista Chilena de Historia Natural*, *91*, 5.

Capotondi, A., Rodrigues, R. R., Sen Gupta, A., Benthuysen, J. A., Deser, C., Frölicher, T. L., Lovenduski, N. S., Amaya, D. J., Le Grix, N., Xu, T., & Hermes, J. (2024). A global overview of marine heatwaves in a changing climate. *Communications Earth & Environment*, *5*(1), 701.

Carrasco, G., Almeida, A. C., & Falvey, M. (2022). Effects of climate change on forest plantation productivity in Chile. *Global Change Biology*, *28*, 7391-7409. https://doi.org/10.1111/gcb.16418

Carrasco, N., & Mendoza, C. (2021). Restoration as a re-commoning process. Territorial initiative and global conditions in the process of water recovery in the 'Cordillera de Nahuelbuta', Chile. *Ecosystems and People*, *17*(1).

Carrasco-Bahamonde, D., Olate, P., & Olea, A. (2021). The resurgence of Indigenous governance in Chile's coastal commons: Addressing environmental conflict through marine indigenous law. *Marine Policy*, *134*, 104781.

Carrasco-Bahamonde, Daniel. (2022). Marine Coastal Spaces of Indigenous Peoples and salmon farming in Chile. Dilemmas in historical perspective. *Revista de historia (Concepción)*, *29*(1), 15-45. https://doi.org/10.29393/rh29-2ecdc10002

Castilla, J. C., Armesto Zamudio, J. J., Martínez-Harms, M. J., & Tecklin, D. (2023). *Conservation in Chilean Patagonia: Assessing the State of Knowledge, Opportunities, and Challenges*. 504. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39408-9

Castilla, J. C., & Defeo, O. (2001). Latin American benthic shellfisheries: Emphasis on co-management and experimental practices. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *11*(1), 1-30.

Cavan, E. L., Mackay, N., Hill, S. L., Atkinson, A., Belcher, A., & Visser, A. (2024). Antarctic krill sequester similar amounts of carbon to key coastal blue carbon habitats. *Nature Communications*, *15*, 7842. https://doi.org/10.1038/s41467-024-52135-6

CIESIN. (2013). *Global Roads Open Access Data Set, Version 1 (gROADSv1)*. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University.

Cinti, A., Ramirez, L., Castrejón, M., Aburto, J., Loto, L., Fulton, S., Rueda, M., Schiavetti, A., Fernández-Rivera, F., Bravo, M., Trigueirinho, D., Penchel, V., & Parma, A. (2025). Small-scale fisheries in ecologically sensitive áreas in Latin America and the Caribbean: Do marine protected areas benefit fisheries governance? *Ambio*, *54*, 20-42. https://doi.org/10.1007/s13280-024-02062-z

Climate Funds Update. (2023). *La arquitectura mundial del financiamiento para el clima*. Climate Funds Update.

Cloutier de Repentigny, P. (2023). A Regime Lost at Sea: Critical reflections on the UNCLOS conservation regime and the future of marine biodiversity protection. *The Environmental Rule of Law for Oceans: Designing Legal Solutions*, 149.

COFIDES. (2024). *El Fondo Verde para el Clima aprueba el Fondo Kuali*. Compañía Española de Financiación del Desarrollo (COFIDES).

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. International Union for Conservation of Nature (IUCN).

Collins, M. E., & Kuehl, R. J. (2000). *Organic-matter accumulation and organic soils*. 137-162.

Comité Científico COP25. (2019a). Capítulo 1: Impactos del cambio climático en la biodiversidad y las funciones ecosistémicas en Chile. En *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones* (p. 66). Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Inovación. https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/d4/15/d41549d2-4080-4ef1-be0d-b647d723180e/impactos_del_cambio_climatico_en_la_biodiversidad.pdf

Comité Científico COP25. (2019b). Capítulo 3: Acuicultura, pesca y biodiversidad en ecosistemas costeros de Chile. En *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Inovación. https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/96/9e/969eef81-9626-4b3b-9de0-d2857d23d063/acuicultura_pesca_y_biodiversidad_en_ecosistemas_costeros_de_chile.pdf

Comité Científico COP25. (2019c). *Criosfera chilena y Antártica: Recomendaciones desde la evidencia científica* (p. 46). Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Inovación. https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/61/d5/61d56481-dcbd-4e1e-a2bd-1606d11ac760/criosfera_chilena_y_antartica.pdf

Comité Científico COP25. (2019d). *Propuestas para la actualización del Plan de Adaptación en Pesca y Acuicultura. Informe de la mesa Océanos* (p. 89). Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Inovación. https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/67/d3/67d31a78-eb8a-46ad-8add-469096ecd2af/actualizacion_del_plan_de_adaptacion_en_pesca_y_acuicultura.pdf

Cooper, J., Baker, G. B., Double, M. C., Gales, R., Papworth, W., Tasker, M. L., & Waugh, S. M. (2006). The Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels: Rationale, history, progress and the way forward. *Marine Ornithology*, *34*, 1-5.

Cordero Quinzacara, E. (2021). Justicia ambiental en el ordenamiento territorial costero en Chile. *Revista de Derecho Ambiental y Recursos Naturales*, *1*(2), 17-44.

Cordero, R. R., Feron, S., Damiani, A., Carrasco, J., Karas, C., Wang, C., Kraamwinkel, C. T., & Beaulieu, A. (2024). Extreme fire weather in Chile driven by climate change and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). *Scientific Reports*, *14*(1), 1974.

Cortés, J., Lucero, F., Suarez, L., Escauriaza, C., Navarrete, S. A., Tampier, G., Cifuentes, C., Cienfuegos, R., Manriquez, D., Parragué, B., Osiadacz, N., & Finke, R. (2022). Open Sea Lab: An integrated Coastal Ocean Observatory Powered by Wave Energy. *Journal of Marine Science and Engineering*, *10*, 1249.

Cortés, S., González, P., Leiva, C., Vargas, Y., Vega, A., & Pastén, P. (2025). Environmental and Public Health Impacts of Mining Tailings in Chañaral, Chile: A Narrative Case-Based Review. *Sustainability*, *17*, 7732.

Craig, R. (2012). Marine Biodiversity, climate change, and governance of the oceans. *Diversity*, *2*, 224-238. https://doi.org/10.3390/d4020224

Cruz, J., Thomson, M. D., Stavroulia, E., & Rawlinson-Smith, R. I. (2009). *Preliminary site selection Chilean marine energy resources*.

Cueto, D. A., Alaniz, A. J., Hidalgo-Corrotea, C., Vergara, P. M., Carvajal, M. A., & Barrios-Saravia, A. (2025). Chilean Mediterranean forest on the verge of collapse? Evidence from a comprehensive risk analysis. *Science of The Total Environment*, *964*, 178557.

Cursach, J., Araos, F., Valencia, C., & Ruz, D. (2024). Etnobiología y cambio climático en humedales marinos del sur de Chile. *Magallania*, *4*(1), 83-103.

Dalsgaard, T. & et al. (2014). Oxygen at nanomolar levels reversibly suppresses process rates and gene expression in anammox and denitrification in the oxygen minimum zone off northern Chile. *mBio*, *5*(6), e01966-14. https://doi.org/10.1128/mbio.01966-14

De Linaje, N. G. A., Mattar, C., & Borvarán, D. (2019). Quantifying the wind energy potential differences using different WRF initial conditions on Mediterranean coast of Chile. *Energy*, *188*, 116027.

Defeo, O., & Castilla, J. C. (2005). More than one bag for the world fishery crisis and keys for co-management successes in selected artisanal Latin American shellfisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *15*, 265-283.

Delooz, B., & Serrano, J. (2023). Ordenamiento del territorio y cambio climático. Estudio dogmático y crítico del plan regional de ordenamiento territorial chileno. *Revista de derecho ambiental*, *20*, 31-63. https://doi.org/10.5354/0719-4633.2023.71100

Dewitte, B., Conejero, C., Ramos, M., Bravo, L., Garçon, V., Parada, C., Sellanes, J., Mechó, A., Muñoz, P., & Gaymer, C. (2021). Understanding the impact of climate change on the oceanic circulation in the Chilean island ecoregions. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *31*(2), 232-253. https://doi.org/10.1002/aqc.3506

Díaz, P. A., & Álvarez, G. (2023). Effects of microalgal blooms on aquaculture and fisheries. *Fishes*, *8*(9), 461.

Díaz, P. A., Álvarez, G., Varela, D., Pérez-Santos, I., Díaz, M., Molinet, C., Seguel, M., Aguilera-Belmonte, A., Guzmán, L., Uribe, E., Rengel, J., Hernández, C., Segura, C., & Figueroa, R. I. (2019). Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. *Perspect. Phycol*, *6*(1-2), 39-50. https://doi.org/10.1127/pip/2019/0081

Díaz, P., Basti, L., Pérez-Santos, I., Schwerter, C., Artal, O., Rosales, S. A., Ross, L., Garreaud, R., Conca, C., Álvarez, G., Fleming, Z. L., Villanueva, F., Díaz, M., Mancilla-Gutiérrez, G., Altamirano, R., Rodríguez-Villegas, C., Urrutia, P., Urrutia, G., Linford, P., ... Figueroa, R. I. (2025). The risk of high-biomass HABs: Triggers and dynamics of a non-toxic bloom of Prorocentrum micans in Chilean Patagonia. *Science of The Total Environment*, *958*, 178140. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178140

Díaz, P., Peréz-Santos, I., Álvarez, G., Garreaud, R., Pinilla, E., Díaz, M., Sandoval, A., Araya, M., Álvarez, F., Rengel, J., Montero, P., Pizarro, G., López, L., Iriarte, L., Igor, G., & Reguera, B. (2021). Multiscale physical background to an exceptional harmful algal bloom of Dinophysis acuta in a fjord system. *Science of the Total Environment*, *773*, 145621. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145621

Díaz, P., Pérez-Santos, I., Basti, L., Garreaud, R., Pinilla, E., Barrera, F., Tello, A., Schwerter, C., Arenas-Uribe, S., Soto-Riquelme, C., Navarro, P., Díaz, M., Álvarez, G., Linford, P. M., Altamirano, R., Mancilla-Gutiérrez, G., Rodríguez-Villegas, C., & Figueroa, R. I. (2023). The impact of local and climate change drivers on the formation, dynamics, and potential recurrence of a massive fish-killing microalgal bloom in Patagonian fjord. *Science of The Total Environment*, *865*, 161288. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161288

Diaz, R., Lardies, M. A., Tapia, F. J., Tarifeño, E., & Vargas, C. A. (2018). Transgenerational Effects of pCO2-Driven Ocean Acidification on Adult Mussels Mytilus chilensis Modulate Physiological Response to Multiple Stressors in Larvae. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1349. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01349

DIPRES. (2025). *Iniciativas de Inversión Pública en Materias Relativas al Cambio Climático 2024*. Dirección de Presupuestos (DIPRES).

Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO_2 Problem. *Annual Review of Marine Science*, *1*(1), 169-192. https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834

Duarte, C. M., Agustí, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J.-P., & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature*, *580*, 39-51. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7

Duarte, C. M., Apostolaki, E. T., Serrano, O., Steckbauer, A., & Unsworth, R. K. F. (2025). Conserving seagrass ecosystems to meet global biodiversity and climate goals. *Nature Reviews Biodiversity*, *1*(3), 150-165. https://doi.org/10.1038/s44358-025-00028-x

Duarte, M., Sanhueza, N., Vasquez, J. A., Tala, F., & Gonzalez, A. V. (2025). Kelps on the move: Potential future distribution areas in the face of climate change, on the Pacific coast of South America. *PLoS One*, *20*, e0332591.

Engler, C. (2024). Fit for purpose? Evaluating climate change adaptation laws and policies for marine aquaculture in Chile. *Frontiers in Marine Science*, *11*, 1386545. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1386545

Escribano, R., & Schneider, W. (2007). The structure and functioning of the coastal upwelling system off central/southern Chile. *Progress in Oceanography, The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling in Central/Southern Chile*, *75*(3), 343-347. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.08.020

ESMAP. (2019). *Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets*. World Bank Group.

EULAIF. (2024). *Fondo de Bonos Verdes de América Latina (LAGREEN)*. European Union - Latin America Investment Facility (EULAIF). https://www.eulaif.eu/es/proyectos/fondo-de-bonos-verdes-de-america-latina-lagreen

FAO. (2024). *Fondo para el Medio Ambiente Mundial—América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/international-fora/global-environment-facility/es/

Farías, L. (2009). Denitrification and nitrous oxide cycling within the upper oxycline of the eastern tropical South Pacific oxygen minimum zone. *Limnology and Oceanography*, *54*(1), 132-144. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.1.0132

Feely, R. A., Sabine, C. L., Hernandez-Ayon, J. M., Ianson, D., & Hales, B. (2008). Evidence for Upwelling of Corrosive "Acidified" Water onto the Continental Shelf. *Science*, *320*(5882), 1490-1492. https://doi.org/10.1126/science.1155676

Feng, Z., Yu, W., Zhang, Y., Li, Y., & Chen, X. (2022). Habitat Variations of Two Commercially Valuable Species Along the Chilean Waters Under Different-Intensity El Niño Events. *Front. Mar. Sci.*, *15336*, 00:00. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.919620

Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, *5*, 505-509. https://doi.org/10.1038/ngeo1477

Franco-Meléndez, M., Cubillos, L. A., Tam, J., Hernández Aguado, S., Quiñones, R. A., & Hernández, A. (2021). Territorial Use Rights for Fisheries (TURF) in central-southern Chile: Their sustainability status from a transdisciplinary holistic approach. *Marine Policy*, *132*, 104644.

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Luijkx, I. T., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., & Smith, S. M. (2023). Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data*, *15*(12), 5301-5369.

Frolking, S., Talbot, J., Jones, M. C., Treat, C. C., Kauffman, J. B., Tuittila, E.-S., & Roulet, N. (2011). Peatlands in the Earth's 21st century climate system. *Environmental Reviews*, *19*, 371-396. https://doi.org/10.1139/a11-014

Fuentes, I., Farías, C., Gironás, J., Galleguillos, M., & Oyarzún, R. (2021). Water scarcity in central Chile: The effect of climate and land cover changes on hydrologic resources. *Hydrological Sciences Journal*, *66*, 718-733. https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1903475

Fuentes-Castillo, T., Hernández, H. J., & Pliscoff, P. (2020). Hotspots and ecoregion vulnerability driven by climate change velocity in Southern South America. *Regional Environmental Change*, *20*(1), 27. https://doi.org/10.1007/s10113-020-01621-7

Fuentes-Castillo, T., Pliscoff, P., & Hernández, H. J. (2019). Modelling the current and future biodiversity distribution in the Chilean Mediterranean hotspot: The role of protected areas in a warmer future. *Diversity and Distributions*, *25*(12), 1887-1904. https://doi.org/10.1111/ddi.12988

Gallardo, V. A., Jr., & Espinoza, C. (2007). New communities of large filamentous sulfur bacteria in the eastern South Pacific. *International Microbiology*, *10*, 97-102. https://doi.org/10.2436/20.1501.01.14

García, M., Correa, J., Maksaev, V., & Townley, B. (2020). Potential mineral resources of the Chilean offshore: An overview. *Andean Geology*, *47*, 1-13.

García Ojeda, M. O., Olea, A., & Olate, P. (2020). El espacio costero marino de pueblos originarios como oportunidad para reflexionar sobre la gobernanza policéntrica y multiescalar del borde costero. *Revista de Geografía Norte Grande*, *76*, 269-291.

Garcia-Santos, Y., Narváez, D. A., Saldías, G. S., Jacques-Coper, M., Bozkurt, D., Garreaud, R., & Valdés-Castro, V. (2025). Impact of atmospheric rivers on coastal oceanographic conditions off central-southern Chile. *Scientific Reports*, *15*(1), 34569. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17997-w

Garcia-Santos, Y., Narvaez, D., Jacques-Coper, M., Saldias, G. S., Bozkurt, D., & Alessio, B. M. (2025). Dominant wind patterns under the influence of atmospheric rivers: Implications for coastal upwelling off central-southern Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *130*, e2024JC021444. https://doi.org/10.1029/2024JC021444

Garcia-Santos, Y., Narvaez, D., Saldías, G., Jacques-Coper, M., Bozkurt, D., Garreaud, R., & Valdés-Castro, V. (2025). Impact of atmospheric rivers on coastal oceanographic conditions off central-southern Chile. *Scientific Reports*, *15*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17997-w

Garreaud, R., Boisier, J. P., Alvarz-Garretón, C., Christie, D., Carrasco-Escaff, T., Vergara, I., Chávez, R. O., Aldunce, P., Camus, P., Suazo-Alvarez, M., Masiokas, M., Castro, G., Muñoz, A., Zambrano-Bigiarini, M., Fuster, R., & Godoy, L. (2025). Hyperdroughts in central Chile: Drivers, Impacts and Projections. *EGUsphere*. https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-517

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, *40*(1), 421-439. https://doi.org/10.1002/joc.6219

Gelcich, S., Fernández, M., Godoy, N., Canepa, A., Prado, L., & Castilla, J. C. (2012). Territorial user rights for fisheries as ancillary instruments for marine coastal conservation in Chile. *Conservation Biology*, *26*, 1005-1015.

Gomis, E., Strydom, S., Foster, N. R., Montemayor, D., Mateo, M. A., Serrano, E., & Serrano, O. (2025). Global estimates of seagrass blue carbon stocks in biomass and net primary production. *Nature Communications*, *16(1)*, 9530.

González, H. E., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J. L., Silva, N., Tapia, F., Teca, E., & Vargas, C. A. (2013). Land-ocean gradient in haline stratification and its effects on plankton dynamics and trophic carbon fluxes in Chilean Patagonian fjords (47°—50°S). *Progress in Oceanography*, *119*, 32-47. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.06.003

González-Reyes, A., Jacques-Coper, M., Bravo, C., Rojas, M., & Garreaud, R. (2023). Evolution of heatwaves in Chile since 1980. *Weath. Clim. Extrem.*, *1717*, 28:00. https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100588

Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., van Heuven, S., Hoppema, M., & Wanninkhof, R. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO_2 from 1994 to 2007. *Science*, *363*(6432), 1193-1199. https://doi.org/10.1126/science.aau5153

Guerrero Peña, N., Orellana, N., & Osorio-Molina, C. (2020). Memoria biocultural y autogestión territorial Chango Marera: Bases para la resiliencia en el borde costero. *Revista Enfoques Ciencia Política y Administración Pública*, *18*(33), 85-109.

Guerrero, R., & Alarcón, M. (2025). *Habitar en Caletas Urbanas. Desarrollo sociocultural y espacial de asentamientos pesqueros en el Área Metropolitana de Concepción*. RIL Editores.

Gutiérrez, J. S., Moore, J. N., Donnelly, J. P., Dorador, C., Naveda-Rodríguez, J. G., & Senner, N. R. (2022). Climate change and lithium mining influence flamingo abundance in the Lithium Triangle. *Proceedings of the Royal Society B*, *289*(1970), 20212388. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2388

Gutiérrez, M. H., Galand, P. E., Moffat, C., & Pantoja, S. (2015). Melting glacier impacts community structure of Bacteria, Archaea and Fungi in a Chilean Patagonia fjord. *Environmental Microbiology*, *17*(10), 3882-3897. https://doi.org/10.1111/1462-2920.12872

Guzmán, L., Espinoza-Gonzalez, O., Pinilla, E., Besoain, V., Calderón, M. J., Cáceres, J., Iriarte, L., Muñoz, V., Martínez, R., Hernández, C., Tocornal, M. A., & Carbonell, P. (2018). *Atmospheric and oceanographic processes on the distribution and abundance of Alexandrium catenella in the North of Chilean fjords*.

Guzman, P., & Daly, C. (2025). Integrating cultural resources and heritage in climate action: A review of nine climate plans. *Environmental Science & Policy*, *1906*, 27:00.

Hamilton, D. S., Perron, M. M. G., Bond, T. C., Bowie, A. R., Buchholz, R. R., Guieu, C., Ito, A., Maenhaut, W., Myriokefalitakis, S., Olgun, N., Rathod, S. D., Schepanski, K., Tagliabue, A., Wagner, R., & Mahowald, N. M. (2022). Earth, Wind, Fire, and Pollution: Aerosol Nutrient Sources and Impacts on Ocean Biogeochemistry. *Annual Review of Marine Science*, *14*, 303-330. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-031921-013612

Hao, Z., Li, X., Zhao, J., & Wang, F. (2025). Enhanced carbon sequestration potential following sediment dredging in river ecosystems. *Environmental Science & Technology*. https://doi.org/10.1021/acs.est.5c05177

Heinen, D., Arlati, A., & Knieling, J. (2022). Five dimensions of climate governance: A framework for empirical research based on polycentric and multi-level governance perspectives. *Environmental Policy and Governance*, *32*(1), 56-68. https://doi.org/10.1002/eet.1963

Hernández-Miranda, E., Veas, R., Labra, F., Salamanca, M., & Quiñones, R. (2012). Response of the epibenthic macrofaunal community to a strong upwelling-driven hypoxic event in a shallow bay of the southern Humboldt Current System. *Marine Environmental Research*, *79*, 16-28. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.04.004

Hidalgo-Corrotea, C., Alaniz, A. J., Vergara, P. M., Moreira-Arce, D., Carvajal, M. A., Pacheco-Cancino, P., & Espinosa, A. (2023). High vulnerability of coastal wetlands in Chile at multiple scales derived from climate change, urbanization, and exotic forest plantations. *Science of the Total Environment*, *903*, 166130. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166130

Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C., Benthuysen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., & Holbrook, N. J. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, *141*, 227-238.

Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., & Hijioka, Y. (2018). Impacts of 1.5 C global warming on natural and human systems. En *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (pp. 175-311). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf

Honorato-Zimmer, D., Escobar-Sanchez, G., Deakin, K., De Veer, D., Galloway, T., Guevara-Torrejon, V., Howard, J., Jones, J., Lewis, C., Ribeiro, F., Savage, G., & Thiel, M. (2024). Macrolitter And Microplastics Along The East Pacific Coasts—A Homemade Problem Needing Local Solutions. *Mar Pollut Bull*, *203*, 116440.

Hopwood, M. J., Carroll, D., Dunse, T., Hodson, A., Holding, J. M., Iriarte, J. L., Ribeiro, S., Achterberg, E. P., Cantoni, C., Carlson, D. F., Chierici, M., Clarke, J. S., Cozzi, S., Fransson, A., Juul-Pedersen, T., Winding, M. H. S., & Meire, L. (2020). Review article: How does glacier discharge affect marine biogeochemistry and primary production in the Arctic? *The Cryosphere*, *14*(4), 1347-1383. https://doi.org/10.5194/tc-14-1347-2020

Hoyos-Santillán, J., Miranda, A., Lara, A., Sepúlveda-Jauregui, A., Zamorano-Elgueta, C., Gómez-González, S., Vásquez-Lavín, F., Garreaud, R. D., & Rojas, M. (2021). Diversifying Chile's climate action away from industrial plantations. *Environmental Science & Policy*, *124*, 85-89. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.06.013

Hurd, C. L., Law, C. S., Bach, L. T., Britton, D., Hovenden, M., Paine, E. R., Raven, J. A., Tamsitt, V., & Boyd, P. W. (2022). Forensic carbon accounting: Assessing the role of seaweeds for carbon sequestration. *Journal of Phycology*, *58*(3), 347-363. https://doi.org/10.1111/jpy.13249

IPCC. (2019). *The ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate* (H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, & N. M. Weyer, Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/srocc/

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3-32). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.1017/9781009157896.001

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009325844

Iriarte, J. L., & González, H. E. (2004). Phytoplankton size structure during and after the El Niño of 1997—1998 in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, *269*, 83-90.

Iriarte, J. L., Gonzalez, H. E., & Nahuelhual, L. (2010). Patagonian fjord ecosystems in southern Chile as a highly vulnerable region: Problems and needs. *Ambio*, *39*, 463-466.

IUCN. (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-2*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). https://www.iucnredlist.org/

Jefferies, C., & Latos, K. (2025). The International Moratorium on Commercial Whaling: A Brief History and Socio-Legal Assessment. En *Non-use Measures for Global Goods and Commons in International Law* (pp. 139-168). https://doi.org/10.1163/9789004730571_008

Jerez Henríquez, B., Cid-Aguayo, B. E., Vanhulst, J., Bastías-Mercado, F., Letelier, E., Oliveros, V., Henríquez, A., Carrasco, N., Ther-Ríos, F., Pérez, C., Berndt, M., Ramírez, C., Sepúlveda, J., Meza, E., Oñate, D., & Erbo, D. (2025). Coastal commons in southern Chile: Current state, networks, and community cares, such as local contributions to climate justice. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *30*(6), 50. https://doi.org/10.1007/s11027-025-10238-5

Johnson, D., Blackett, P., Allison, A. E. F., & Broadbent, A. M. (2023). Measuring Social Vulnerability to Climate Change at the Coast: Embracing Complexity and Context for More Accurate and Equitable Analysis. *Water*, *15*, 3408. https://doi.org/10.3390/w15193408

Jorquera, A., Castillo, C., Murillo, V., Araya, J., Pinochet, J., Narvaez, D., Pantoja-Gutierrez, S., & Urbina, M. A. (2022). Physical and anthropogenic drivers shaping the spatial distribution of microplastics in the marine sediments of Chilean fjords. *Sci Total Environ*, *814*, 152506.

Jozaei, J., Chuang, W.-C., Allen, C. R., & Garmestani, A. (2022). Social vulnerability, social-ecological resilience and coastal governance. *Global Sustainability*, *5*, e12, 1-9. https://doi.org/10.1017/sus.2022.10

Jürchott, M., Oschlies, A., & Pörtner, H.-O. (2023). Artificial upwelling—A refined narrative. *Geophysical Research Letters*, *50(4)*, e2022GL101870. https://doi.org/10.1029/2022GL101870

Kibel, P. S. (2000). Alone at sea: Chile's presencial ocean policy. *Journal of Environmental Law*, *12*(1), 43-64.

King, J. P. (2022). Sixteen ways to adapt: A comparison of state-level climate change adaptation strategies in the federal states of Germany. *Regional Environmental Change*, *22*, 40. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01870-3

Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., Duarte, C. M., & Gattuso, J. (2013). Impacts of ocean acidification on marine organisms: Quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology*, *19*(6), 1884-1896. https://doi.org/10.1111/gcb.12179

Lacy, S., & Martinez-Gonzalez, C. (2024). *Estudio vulnerabilidad en ambientes dulceacuícolas del PNACC BIO: Peces dulceacuícolas y su respuesta al cambio climático en Chile*. PNACC BIO.

León-Muñoz, J., Urbina, M. A., Garreaud, R., & Iriarte, J. L. (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Sci. Rep.*, *30*, 10:00. https://doi.org/10.1038/s41598-018-19461-4

Li, Y., Wang, Y., Qiu, G., Yu, H., Liu, F., Wang, G., & Duan, Y. (2024). Conservation tillage facilitates the accumulation of soil organic carbon fractions by affecting the microbial community in an eolian sandy soil. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1394179. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1394179

Loch, T. K., & Riechers, M. (2021). Integrating indigenous and local knowledge in management and research on coastal ecosystems in the Global South: A literature review. *Ocean and Coastal Management*, *212*, 105821. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105821

Lotze, H. K. (2021). Marine biodiversity conservation. *Current Biology*, *31*, R1190-R1195.

Mackey, K. R. M., Post, A. F., McIlvin, M. R., Cutter, G. A., John, S. G., & Saito, M. A. (2015). Divergent responses of Atlantic coastal and oceanic Synechococcus to iron limitation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*, 9944-9949. https://doi.org/10.1073/pnas.1509448112

Macpherson, E., Urlich, S., Rennie, H., Paul, A., Fisher, K., Braid, L., Bawell, J., Torres, J., & Jorgensen, E. (2021). "Hooks" and 'Anchors? For relational ecosystem-based marine management. *Marine Policy*, *130*, 104561. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104561

Macreadie, P. I., Costa, M. D. P., Atwood, T. B., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Lovelock, C. E., Serrano, O., & Duarte, C. M. (2021). Blue carbon is a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment*, *2*, 826-839. https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-1

Madariaga, M. (2021). Is Chile building good climate governance? Reflections on the drafting process of the climate change framework law. *Environmental Law Review*, *23*, 40-48. https://doi.org/10.1177/1461452920985654

Makondo, C., & Thomas, P. (2018). Climate change adaptation: Linking indigenous knowledge with local adaptive strategies. *Environmental Science & Policy*, *88*, 83-91.

Martínez, C., León, J., Bonet, M., Inzunza, S., Guerrero, N., Román, R., Acevedo, R., & Araya, E. (2024). *Informe de daños. Incendios 02 y 03 de febrero de 2024, Viña del Mar (Región de Valparaíso)*. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN).

Mascareño, A., Cordero, R., Azócar, G., Billi, M., Henríquez, P. A., & Ruz, G. A. (2018). Controversies in social-ecological systems: Lessons from a major redtide crisis on Chiloe Island, Chile. *Ecology and Society*, *23*(4), 15. https://doi.org/10.5751/ES-10300-230415

Masotti, I., Aparicio-Rizzo, P., Yevenes, M. A., Garreaud, R., Belmar, L., & Farías, L. (2018). The Influence of River Discharge on Nutrient Export and Phytoplankton Biomass Off the Central Chile Coast (33°-37°S): Seasonal Cycle and Int erannual Variability. *Frontiers in Marine Science*, *5*. Frontiers. https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00423

Ministerio de Hacienda. (2020). *Estrategia Financiera frente al Cambio Climático*. Ministerio de Hacienda.

Ministerio de Hacienda. (2024). *Mesa Público-Privada de Finanzas Verdes*. Ministerio de Hacienda.

Miralles-Wilhelm, F. (2021). *Nature-based solutions in agriculture - Sustainable management and conservation of land, water, and biodiversity*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://doi.org/10.4060/cb3140en

MMA. (2021a). *Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP-2050)*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2021b). *Estrategia Nacional para la Gestión de Residuos Marinos y Microplásticos*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2021c). *Medios de Implementación, Financiamiento Climático*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2022). *Documentos MMA: Estrategias de Implementación y Financiamiento Climático*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2024a). *1er Informe Bienal de Transparencia y 5ª Comunicación Nacional ante la CMNUCC*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2024b). *Fondo de Protección Ambiental—Bases Concurso*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

MMA. (2024c). *Plan Sectorial de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad (Anteproyecto)*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Molina, F., Constanzo, J., & Inostroza, C. (2018). Desastres naturales y territorialidad. El caso de los lafkenche de Saavedra. *Revista de Geografía Norte Grande*, *71*, 189-209.

Moraga, P. (2022). Una nueva era del derecho ambiental: La Ley Marco de Cambio Climático en Chile a 50 años de Estocolmo. *Revista de derecho ambiental*, *17*, 1-6. https://doi.org/10.5354/0719-4633.2022.67640

Morales, E., & Winckler, P. (2020). *Costas de Chile. Medio Natural, Cambio Climático, Ingeniería Oceánica y Gestión Costera*. Editorial no disponible.

Muller-Karger, F. E., Tan, H. A. S., Allcock, L., Appeltans, W., Aguilar, C. B., Blanco, A., & Vavia, A. (2024). *Ocean Decade Vision 2030 White Papers-Challenge 2: Protect and Restore Ecosystems and Biodiversity*. UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development (Ocean Decade). https://hal.science/hal-04786152v1

Muñoz-Sáez, A., Choe, H., Boynton, R. M., Elsen, P. R., & Thorne, J. H. (2021). Climate exposure shows high risk and few climate refugia for Chilean native vegetation. *Science of the Total Environment*, *777*, 147399. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147399

Naciones Unidas. (2025). *Climate Finance, Financiación y justicia*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/climate-finance

Navarro, J. M., Cárdenas, L., Ortiz, A., Figueroa, A., Morley, S. A., Vargas-Chacoff, L., Leclerc, J.-C., & Détrée, C. (2024). Testing the physiological capacity of the mussel Mytilus chilensis to establish into the Southern Ocean. *Sci. Tot. Environ.*, *3770*, 01:00. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170941

Neira, E., Fuentes, M., Salgado, F., & Jelves, L. (2021). Floating Offshore Wind Power: A Case Study for Concepción Bay, Chile. *IEEE*. https://ieeexplore.ieee.org/document/9702952

OECD. (2020). *Rebuilding fisheries: The way forward*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). https://doi.org/10.1787/9789264212590-en

OECD. (2024). *Perspectivas económicas de América Latina 2024*. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).

Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R. M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R. G., Plattner, G.-K., Rodgers, K. B., ... Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, *437*(7059), 681-686. https://doi.org/10.1038/nature04095

Oyarzo-Miranda, C., Otaíza, R., Bellorín, A., Vega, J. M. A., Tala, F., Lagos, N. A., Oyarzún, F. X., Estévez, R. A., Latorre-Padilla, N., Mora Tapia, A. M., Figueroa-Fábrega, L., Jara-Yáñez, R., Bulboa, C., & Contreras-Porcia, L. (2023). Seaweed restocking along the Chilean coast: History, present, and inspiring recommendations for sustainability. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 1062481.

Pacto de Alcaldes. (2023). *Guía de financiamiento para acciones climáticas*. Pacto de Alcaldes.

Pakhomov, E. A., Froneman, P. W., & Perissinotto, R. (2002). Salp/krill interactions in the Southern Ocean: Spatial segregation and implications for the carbon flux. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, *49*, 1881-1907.

ParlAmericas. (2023). *Manual sobre financiamiento climático en América Latina*. ParlAmericas.

Parra, J., & Jensen, M. (2025). Adapting to climate change: Lessons from Chile's coastal communities. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, *17*(1), 291-310. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-03-2024-0044

Payne, A. E., Demory, M. E., Leung, L. R., Ramos, A. M., Shields, C. A., Rutz, J. J., & Ralph, F. M. (2020). Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(3), 143-157.

Peña-Cortés, F., Gutiérrez, P., Rebolledo, G., Escalona, M., Hauenstein, E., Bertrán, C., Schlatter, R., & Tapia, J. (2006). Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (36), 75-91. https://doi.org/10.4067/S0718-34022006000200005

Perez-Quezada, J. F., Trejo, D., Lopatin, J., Aguilera, D., Osborne, B., Galleguillos, M., & Armesto, J. J. (2024). Comparison of carbon and water fluxes and the drivers of ecosystem water use efficiency in a temperate rainforest and a peatland in southern South America. *Biogeosciences*, *21*(5), 1371-1389.

Pescaroli, G., & Alexander, D. (2018). Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: A holistic framework. *Risk Analysis*, *38*(11), 2245-2257.

Piñones, Aziares-Aguayo N., Amador-Véliz P., Mercado-Peña O., González-Reyes A., Valdivia N., Garcés-Vargas J., Garrido I., Pardo L. M., & Höfer J. (2024). Local and remote atmosphere-ocean coupling during extreme warming events impacting subsurface ocean temperature in an Antarctic embayment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *129*, e2023JC020735. https://doi.org/10.1029/2023JC020735

PNUD. (2024). *Restauración de Ecosistemas: Dossier Chile*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). https://www.learningfornature.org/wp-content/uploads/2024/03/SP_Ecosystem-restoration-country-dossier-Chile_Final.pdf

Pozo-Solar, F., Cornejo-D'ottone, M., Orellana, R., Acuña, C., Rivera, C., Aguilar-Muñoz, P., Lavergne, C., & Molina, V. (2023). Microbial And Biogeochemical Shifts In A Highly Anthropogenically Impacted Estuary ("El Sauce" Valparaiso). *Water*, *15*.

Pujol, C., Barth, A., Pérez-Santos, I., Muñoz-Linford, P., & Alvera-Azcárate, A. (2025). Overcoming Challenges in Coastal Marine Heatwave Detection: Integrating In Situ and Satellite Data in Complex Coastal Environment. *EGUsphere [preprint]*. https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1421

Pujol, C., Pérez-Santos, I., Barth, A., & Alvera-Azcárate, A. (2022). Marine heatwaves offshore central and south Chile: Understanding forcing mechanisms during the years 2016-2017. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 800325.

Rayfuse, R. (2020). *Chapter 22. Crossing the Sectoral Divide: Modern Environmental Law Tools for Addressing Conflicting Uses on the Seabed*. 527-552. https://doi.org/10.1163/9789004391567_024

Riquelme, C., Estay, S. A., López, R., Pastore, H., Soto-Gamboa, M., & Corti, P. (2018). Protected areas' effectiveness under climate change: A latitudinal distribution projection of an endangered mountain ungulate along the Andes Range. *PeerJ*, *6*, e5222. https://doi.org/10.7717/peerj.5222

Rivera, A., Koppes, M., Bravo, C., & Aravena, J. C. (2012). Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia. *Climate of the Past*, *8*(2), 403-414. https://doi.org/10.5194/cp-8-403-2012

Rivera, R., Escribano, R., González, C. E., & Pérez-Aragón, M. (2023). Modeling present and future distribution of plankton populations in a coastal upwelling zone: The copepod Calanus chilensis as a study case. *Scientific Reports*, *65*, 38:00. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29541-9

Rivera, R., Escribano, R., González, C. E., & Pérez-Aragón, M. (2024). Latitudinal diversity of planktonic copepods in the Eastern Pacific: Overcoming sampling biases and predicting patterns. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *12*. https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1305916

Rivera-Belmar, A., & Tocornal-Ríos, M. A. (2018). *HAB in the Aysen region of Chile: A challenge for public health*. *Abstract Book*. Eighteenth International Conference on Harmful Algae, Nantes.

Rivers, N., Strand, M., Fernandes, M., Metuge, D., Lemahieu, A., Nonyane, C. L., Benkenstein, A., & Snow, B. (2023). Pathways to integrate Indigenous and local knowledge in ocean governance processes: Lessons from the Algoa Bay Project, South Africa. *Frontiers in Marine Science*, *9*, 1084674. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1084674

Rodríguez, F., Moraga, C., Castillo, J., Gálvez, E., Robles, P., & Toro, N. (2021). Submarine Tailings In Chile—A Review. *Metals*, *11*, 780.

Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., & Daioglou, V. (2021). Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Global Change Biology*.

Rogers, N. J. L., Adams, V. M., & Byrne, J. A. (2023). Factors affecting the mainstreaming of climate change adaptation in municipal policy and practice: A systematic review. *Climate Policy*, *23*, 1327-1344. https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2208098

Rojas Quezada, C. (2024). Urban Wetlands Protection Law in Chile. A Successful Tool for Urban Planning. En C. Rojas Quezada (Ed.), *Urban Wetlands in Latin America: Protection, Conservation, Innovation, Restoration, and Community for Sustainable and Water Sensitive Cities* (pp. 49-56). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69590-2_4

Rozzi, R., Rosenfeld, S., Armesto, J. J., Mansilla, A., Núñez-Ávila, M., & Massardo, F. (2023). Ecological Connections Across the Marine-Terrestrial Interface in Chilean Patagonia. *Conservation in Chilean Patagonia*, 323-354.

Saavedra, L. M., Saldías, G. S., Broitman, B. R., & Vargas, C. A. (2020). Carbonate chemistry dynamics in shellfish farming areas along the Chilean coast: Natural ranges and biological implications. *ICES Journal of Marine Science*, *78*(1), 323-339. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa127

Salimi, S., Wu, J., & Zhang, L. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, *289*, 112160. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160

Sapiains, R., Azócar, G., Moraga, P., Valenzuela, C., Aldunce, P., Cornejo, C., Rojas, M., Pulgar, A., Medina, L., & Boskurt, D. (2022). Are Citizens Ready for Active Climate Engagement or Stuck in a Game of Blame? Local Perceptions of Climate Action and Citizen Participation in Chilean Patagonia. *Sustainability*, *14*, 12034. https://doi.org/10.3390/su141912034

Scherer, M. (2025). *COP30: A Blue Mutirão for the Planet*.

Schlingmann, A., Graham, S., Benyei, P., Corbera, E., Martinez Sanesteban, I., Marelle, A., Soleymani-Fard, R., & Reyes-García, V. (2021). Global patterns of adaptation to climate change by Indigenous Peoples and local communities. A systematic review. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *51*, 55-64. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.03.002

Schneider, C., Donoso, G., Muñoz, E., & Pizarro, R. (2023). Soluciones de base natural (SbN) para conflictos de escasez hídrica en la ecorregión mediterránea de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, *90*, 115-140. https://doi.org/10.4067/S0718-34022023000200115

SERNAPESCA. (2021). *Análisis de varamientos de peces en Arauco confirman que la causa de mortandad es por fenómeno oceanográfico "surgencia"*. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA).

Shadman, M., Roldan-Carvajal, M., Pierart, F. G., Haim, P. A., Alonso, R., Silva, C., Osorio, A. F., Almonacid, N., Carreras, G., Maali Amiri, M., Arango-Aramburo, S., Rosas, M. A., Pelissero, M., Tula, R., Estefen, S. F., Pastor, M. L., & Saavedra, O. R. (2023). A Review of Offshore Renewable Energy in South America: Current Status and Future Perspectives. *Sustainability*, *15*(2), 1740. https://doi.org/10.3390/su15021740

Shahin, Md. S. A., Villagra, P., Mazzorana, B., Rana, Md. J., Khan, I., Altuwaijri, H. A., & Kafy, A. A. (2025). Assessing Tsunami vulnerability indicators to enhance coastal resilience in Southern Chile. *Natural Hazards*, *121*(5), 5471-5525. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06981-8

Simon, J. W., & Muñoz, W. (2025). Making Mainstreaming Work for Climate Change Adaptation: A Multi-Level Analysis of Adaptive Policy Capacity Building in Fishing and Aquaculture Governance in Chile. *Public Administration and Development*. https://doi.org/10.1002/pad.2098

Simpson, N. P., Williams, P. A., Mach, K. J., Berrang-Ford, L., Biesbroek, R., Haasnoot, M., Segnon, A. C., Campbell, D., Musah-Surugu, J. I., Joe, E. T., & Nunbogu, A. M. (2023). Adaptation to compound climate risks: A systematic global stocktake. *iScience*, *26*(2).

Sirota, R., Winters, G., Levy, O., Marques, J., Paytan, A., Silverman, J., Sisma-Ventura, G., Rahav, E., Antler, G., & Bar-Zeev, E. (2024). Impacts Of Desalination Brine Discharge On Benthic Ecosystems. *Environ Sci Technol*, *58*, 5631-5645.

Solé Figueras, L., Zandt, E. I., Buschbaum, C., & Meunier, C. L. (2024). How Are The Impacts Of Multiple Anthropogenic Drivers Considered In Marine Ecosystem Service Research? A Systematic Literature Review. *Journal Of Applied Ecology*, *61*, 1212-1226.

Soriano, Y., Carmona, E., Renovell, J., Pico, Y., Brack, W., Krauss, M., Backhaus, T., & Inostroza, P. A. (2024). Co-Occurrence And Spatial Distribution Of Organic Micropollutants In Surface Waters Of The River Aconcagua And Maipo Basins In Central Chile. *Science of the Total Environment*, *954*, 176314.

Soto-Rivas, K., Richter, D., & Escauriaza, C. (2022). Flow effects of finite-sized tidal turbine arrays in the Chacao Channel, Southern Chile. *Renewable Energy*, *195*, 637-647. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.150

St-Laurent, G., Locatelli, B., Hoberg, G., Gukova, V., & Hagerman, S. (2021). Models for integrating climate objectives in forest policy: Towards adaptation-first? *Land Use Policy*, *104*, 105357. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105357

Suarez, L., Guerra, M., Williams, M. E., & Escauriaza, C. (2025). Tidal energy resource assessment in the Strait of Magellan in the Chilean Patagonia. *Renewable Energy*, *252*, 123430. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123430

Suarez, L., Guerra, M., Williams, M. E., Escauriaza, C., Lozovatsky, I., Coppersmith, R., & Fernando, H. J. S. (2024). Flow characterization and turbulence in the eastern section of the Strait of Magellan, Southern Chile. *Continental Shelf Research*, *283*, 105344. https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105344

SUBDERE. (2023). *Fondo Nacional de Desarrollo Regional—Lineamientos para Proyectos Climáticos*. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE).

SUBPESCA. (2022). *Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Ecosistemas Marinos*. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) - Gobierno de Chile. https://www.subpesca.cl/portal/sitio/

SUBPESCA. (2023). *Mujeres y Hombres en el sector pesquero y acuicultor de Chile 2023* (p. 72). Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA).

SUBPESCA. (2024a). *Estado de situación de las principales pesquerías chilenas, año 2023* (p. 139). Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA).

SUBPESCA. (2024b). *Pesca Industrial*. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA).

Sunesen, I., Méndez, S. M., Mancera-Pineda, J. E., Bottein, M. Y. D., & Enevoldsen, H. (2021). The Latin America and Caribbean HAB status report based on OBIS and HAEDAT maps and databases. *Harmful Algae*, *102*, 101920. https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101920

Tafon, R., Glavovic, R., Saunders, F., & Gilek, M. (2022). Ocean of Conflict: Pathways to an Ocean Sustainability PACT. *Planning Practice & Research*, *37*(2), 213-230. https://doi.org/10.1080/02697459.2021.1918880

Tampier, G., Cifuentes, C., Aziares, N., Cárdenas, R., & Álvarez, K. (2024). *Tecnologías de energía eólica offshore para Chile: Perspectivas y desafíos*. Fundación MERIC, Universidad Austral de Chile. https://meric.cl/wp-content/uploads/2025/11/Tecnologias-energiamarina-eolicaoffshore-paraChile.pdf

Tang, W., Llort, J., Weis, J., Perron, M. M. G., Basart, S., Li, Z., Sathyendranath, S., Jackson, T., Sanz Rodriguez, E., Proemse, B. C., Bowie, A. R., Schallenberg, C., Strutton, P. G., Matear, R., & Cassar, N. (2021). Widespread phytoplankton blooms triggered by 2019-2020 Australian wildfires. *Nature*, *597*(7876), 370-375. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03805-8

Toledo, P., Niklitschek, E. J., Darnaude, A. M., Leiva, F. P., Harrod, C., Lillo, S., Ojeda, V., Klarian, S., Molina-Burgos, B. E., Gálvez, P., & Canales-Aguirre, C. B. (2020). The trophic ecology of partial migration: Insights from Merluccius australis off NW Patagonia. *ICES Journal of Marine Science*, *77*, 1927-1940. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa065

Torfing, J., Bentzen, T., & Caponio, T. (2025). Advancing Robust Governance in Turbulent Times: The Role of Multi-Level Governance, Hybrid Governance, and Negotiated Societal Intelligence. *Public Administration*, 1-15. https://doi.org/10.1111/padm.70011

Torres, R., Reid B, Pizarro G., Frangópulos M., Alarcón E., Márquez M., Díaz F., Menschel E., González H. E., Moreno-Meynard P., Montero P., Pacheco H., Pinto-Torres M., Alarcón C., Ibañez R., & Hawkings J. (2023). Iron and silicic acid addition effects on early Spring macronutrient drawdown and biogenic silica production of Patagonia estuarine waters. *Progress in Oceanography*, *214*, 102982. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.102982

Troell, M., Henriksson, P. J. G., Buschmann, A., Chopin, T., & Quahe, S. (2022). Farming the Ocean - Seaweeds as a Quick Fix for the Climate? *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. https://doi.org/10.1080/23308249.2022.2048792

Trouillet, B., & Jay, S. (2021). The complex relationships between marine protected areas and marine spatial planning: Towards an analytical framework. *Marine Policy*, *127*, 104441. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104441

Ulloa, O., & Pantoja, S. (2008). The oxygen minimum zone of the eastern South Pacific. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, *56*(16), 987-991. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.12.004

Unsworth, R. K., Collier, C. J., Waycott, M., Mckenzie, L. J., & Cullen-Unsworth, L. C. (2015). A framework for the resilience of seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, *100*(1), 34-46.

Urresti, A. (2019). *Humedales, un patrimonio de agua y vida*.

Van Assche, K., Hornige, A., Schlüter, A., & Vaidianu, N. (2020). Governance and the coastal condition: Towards new modes of observation, adaptation and integration. *Marine Policy*, *112*. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.01.002

van Leeuwen, S. M., Salgado, H., Bailey, J. L., Beecham, J., Iriarte, J. L., García-García, L., & Thorpe, R. (2021). Climate change, marine resources and a small Chilean community: Making the connections. *Mar Ecol Prog Ser*, *680*, 223-246. https://doi.org/10.3354/meps13934

Vargas, C. A., Contreras, P. Y., Pérez, C. A., Sobarzo, M., Saldías, G. S., & Salisbury, J. (2016). Influences of riverine and upwelling waters on the coastal carbonate system off Central Chile and their ocean acidification implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *121*(6), 1468-1483. https://doi.org/10.1002/2015JG003213

Vasquez, F., Chica, J., & Martínez, G. (2023). La gestión costera en la isla y el mar de Chiloé (Chile): Un diagnóstico de los problemas operativos desde la GIAL y su relación con el cambio climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, *85*, 1-27.

Veroes, C., Castro, L., & Cáceres, M. (2023). Inferred transport of early life stages of Patagonian grenadier (Macruronus magellanicus) between northern Patagonian channels and the continental shelf. *Cont Shelf Res*, *252*, 104878. https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104878

Villalón, V., Watts, D., & Cienfuegos, R. (2019). Assessment of the power potential extraction in the Chilean Chacao channel. *Renewable Energy*, *131*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.008

Villar-Muñoz, L., Bento, J. P., Vargas-Cordero, I., Morales, E., Tinivella, U., Giustiniani, M., Bangs, N., Kinoshita, M., Ronda, A. C., Clarke, M., Hino, H., Jalowitzki, T., Contreras-Reyes, E., Moncada, D., & Fernández, R. (2024). New insights into the marine minerals and energy resources of the Chilean continental shelf with an environmental approach. *Earth-Science Reviews*, *255*, 1-15.

Webb, M. J., Winter, J. M., Spera, S. A., Chipman, J. W., & Osterberg, E. C. (2021). Water, agriculture, and climate dynamics in central Chile's Aconcagua River Basin. *Physical Geography*, *42*(5), 395-415. https://doi.org/10.1080/02723646.2020.1790719

Weidenslaufer, C., & Loiseau, V. (2023). *Impacto de la minería submarina en la producción minera de Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN).

Westermeier, R., Patiño, D. J., & Müller, D. G. (2011). Macrocystis integrifolia restoration through spore seeding in northern Chile. *Journal of Applied Phycology*, *23*(3), 537-543.

World Bank. (2020). *Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets (Vol. 33): Technical Potential for Offshore Wind in Chile - Map* (Vol. 33). World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/954421586853016235/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Chile-Map.pdf

Wunderling, N., von der Heydt, A. S., Aksenov, Y., Barker, S., Bastiaansen, R., Brovkin, V., Brunetti, M., Couplet, V., Kleinen, T., Lear, C. H., Lohmann, J., Roman-Cuesta, R. M., Sinet, S., Swingedouw, D., Winkelmann, R., Anand, P., Barichivich, J., Bathiany, S., Baudena, M., … Willeit, M. (2024). Climate tipping point interactions and cascades: A review. *Earth Syst. Dynam.*, *15*, 41-74. https://doi.org/10.5194/esd-15-41-2024

Yáñez, E., Lagos, N. A., Norambuena, R., Silva, C., Letelier, J., Muck, K. P., & Böhm, G. (2017). Impacts of climate change on marine fisheries and aquaculture in Chile. *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: A global analysis*, *1*, 239-332. https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch10

Zhao, Y., Yang, S., & Li, J. (2017). Soil organic carbon storage changes in coastal wetlands of the Liaohe Delta, China, based on landscape patterns. *Estuaries and Coasts*, *40*, 602-614. https://doi.org/10.1007/s12237-016-0194-x

Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., AghaKouchak, A., Bresch, D. N., Leonard, M., Wahl, T., & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, *8*, 469-477.

Anexos transversales

ANEXO 1.

Anexo 1. Informes temáticos Extensos

1.1 Informe Temático Nexo Agua-Energía-Alimentos en Chile: Ciencia y Políticas para una Gestión Sostenible. Compilado de Contribuciones. Enlace (Link cuando esté disponible versión diagramada en la página web).

1.2 Informe Temático Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad: Ciencia para la Adaptación Transformadora en la Zona Costera y Ecosistemas Terrestre y Marino de Chile. Compilado de Contribuciones. Enlace. (Link cuando esté disponible versión diagramada en la página web).

1.3 Informe Temático Cambio Climático y Salud: Evidencias y Acciones para Informar sobre los Riesgos en Salud Pública y Poblacional en Chile. Compilado de Contribuciones. Enlace. (Link cuando esté disponible versión diagramada en la página web).

1.4 Informe Temático Economía Circular y Cambio Climático en Chile. Compilado de Contribuciones. Enlace. (Link cuando esté disponible versión diagramada en la página web).

ANEXO 2.

Anexo 2. Participación total grupos focales de definición de alcance

Informe	Nombre e Institución
Informe Cambio Climático y Salud	Gerardo Acosta — Universidad Austral de Chile Muriel Alfaro Maraboli — Instituto de Salud Pública Fernando Baez Maraboli — Universidad de La Frontera Estela Blanco — Pontificia Universidad Católica de Chile Álex Boso — Universidad de la Frontera Tamara Hoffmann — Universidad de Chile Nicolás Huneeus — Universidad de Chile Raquel Jiménez — Universidad Andrés Bello Guido Martínez — Ministerio de Salud María Teresa Muñoz — Universidad de Chile Carolina Nazzal — Universidad de Chile Claudia Ortiz Fernández — SOCHIPE Manuel Oyarzún Gómez — Academia Chilena de Medicina Yasna Palmeiro — Pontificia Universidad Católica de Chile Paola Pontoni — Ministerio de Salud Gloria Ramirez Donoso — Colegio Médico de Chile José Sandoval Dìaz — Universidad del Bío Bío Ana María Ugarte Caviedes — Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia Gerardo Weisstaub — Universidad de Chile Karla Yohannessen — Universidad de Chile Francisco Zorondo — Universidad de Santiago de Chile
Informe Nexo Agua-Energía-Alimentos	Pilar Barría — Universidad de Chile Felipe Feijoo — Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Lida Fuentes-Viveros — Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Rodrigo Fuster — Universidad de Chile Carlos Huenchuleo — Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Cecilia Ibarra — Universidad de Chile Ana Palacios Quezada — Universidad de Chile Diego Rivera — Universidad del Desarrollo Maureen Trebilcock — Universidad del Bío-Bío

ANEXO 2.

Informe	Nombre e Institución	
Informe Economía Circular	Felipe Díaz Alvarado	Universidad de Chile
	Andrea Espinoza	Universidad de Santiago de Chile
	Macarena Larrain	Universidad Adolfo Ibáñez
	Viviana Letelier	Universidad de La Frontera
	Daniel Moncada	Universidad de Chile
	Edmundo Muñoz	Universidad Andrés Bello
	Humberto Palza	Universidad de Chile
	Ana Prieto	Universidad de Chile
	Ricardo Rebolledo Leiva	Universidad Católica del Maule
	Tomás Santa María	Universidad del Desarrollo
	Marco Schwartz	Universidad de Chile
	Izabela Simon	Universidad Católica del Norte
	Leonardo Vásquez Ibarra	Universidad Católica del Maule
Informe Nexo Océanos-Clima-Biodiversidad	Alberto Alaniz	Universidad de Santiago de Chile
	Gustavo Chiang	Universidad Mayor
	Laura Farías	Universidad de Concepción
	Humberto González	Universidad Austral de Chile
	Veronica Molina	Universidad de Playa Ancha
	Andrea Piñones	Universidad Austral de Chile
	Laura Ramajo	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
	Francisco Ther	Universidad de Los Lagos
	Eleuterio Yañez	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Total de instituciones		**25**

ANEXO 3.

Anexo 3. Participación total talleres virtuales comunidad científica

Nombre	Institución
Patricia Aldea Sánchez	Universidad SEK
Muriel Alfaro Maraboli	Instituto de Salud Pública de Chile
Denisse Alvarez	Universidad Santo Tomás
Tamara Arratia Solar	Pontificia Universidad Católica de Chile
Johanna Arriagada Díaz	Ministerio del Medio Ambiente
María isidora Ávila Thieme	Universidad Mayor
Fernando Baez Maraboli	Universidad de La Frontera
Carmen Barrios	Universidad de Valparaíso
Francisco Bravo	Universidad Adolfo Ibañez
Patricia Burgos Gajardo	Universidad de Valparaíso
Nataly Cabrera Diabuno	SENAPRED
Angelica Casanova Katny	Universidad Católica de Temuco
Cristian Chandia Vallejos	Universidad de Concepción
Sergio Choque Muñoz	SustainBioTech
Gerson Colmenárez López	ISS Chile
Julian Cortés Oggero	Universidad de Chile
Alexies Dagnino Subiabre	Universidad de Valparaíso
Francisco Dall'Orso León	Ministerio de Minería
Felipe Díaz Alvarado	Universidad de Chile
Kenny Díaz Arcaño	Universidad de Talca
María Paz Domínguez	Universidad Técnica Federico Santa María
Fanny Encina Montero	Independiente
Felipe Encinas	Pontificia Universidad Católica de Chile
Alfredo Erlwein	Universidad Austral de Chile
Andrea Espinoza	Universidad de Santiago de Chile
Marcos Ferasso	Universidade Lusófona / Universidad Autónoma de Chile
Franco Ferreira Figueroa	Consultora Ambiental Jaime Illanes & Asociados
Cecilia Flores	Asociación de Mujeres Indígenas Bartolina Sisa
Daniela Frías Montecinos	Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

ANEXO 3.

Cecilia Fuentealba	Universidad de Concepción
Lida Fuentes-Viveros	Centro Regional de Estudios en Alimentos y Salud (CREAS)
Marco Garrido Salinas	Universidad de La Serena
Jaime Giacomozzi	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
Alvaro Glavic	Universidad de Chile
Maria Godoy Ampuero	Fundación Bordemar
Alejandra Gómez Dabanch	Ministerio del Medio Ambiente
Jessica González Carvajal	Universidad de Valparaíso
Felipe Guerra Díaz	Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
Joaquin Gutiérrez	Jaime Illanes y Asociados
Leonardo Guzmán	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Ricardo Hernandez Pardo	Universidad de los Andes (Colombia)
Maritza Jadrijevic	Ministerio del Medio Ambiente
Margarita Jans	Universidad Diego Portales
Magdalena Jensen	Universidad de Concepción
Bárbara Jerez Henríquez	Universidad de Los lagos
Raquel Jiménez Celsi	Universidad Andrés Bello
Laura Jiménez Jiménez	Centro de Modelamiento Matemático / IM CRG
Carla Lanyon Garrido	Universidad de Chile
David Leiva	Ministerio de Educación
Pía León Morales	Fundación CIDEMAR
Jaime Letelier Pino	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
José Antonio Madrid Espinoza	Universidad de Talca
Osvaldo Malfanti Torres	Ministerio del Medio Ambiente
Marcelo Márquez	Dirección de Vialidad
Andrea Martínez Salinas	Museo Nacional de Historia Natural
Cristian Martínez-Villalobos	Universidad Adolfo Ibáñez
Oscar Melo	Pontificia Universidad Católica de Chile
Adriana C. Mera	Universidad Autónoma de Chile
Maria Molinos Senante	Universidad de Valladolid

ANEXO 3.

María Teresa Muñoz Quezada	Universidad de Chile
Javier Naretto Atlagic	Costa Humboldt
Claudia Nicolini	Universidad Diego Portales
Nicole Olguín	Centro de Cambio Global UC
Andrea Osses Vargas	Dirección General de Aguas (DGA)
Pía Oyarzúa Alarcón	Universidad de Concepción
Manuel Oyarzún Gómez	Academia Chilena de Medicina
Ana Palacios Quezada	Universidad de Chile
Yasna Palmeiro	Pontificia Universidad Católica de Chile
Humberto Palza	Universidad de Chile
Fernando Peña Cortés	Universidad Católica de Temuco
Bárbara Pereira Pantoja	Fundación Equilibrio Sustentable
Joel Pérez Osses	Universidad Austral de Chile
Raúl Pino Zamora	Centro de Acción Climática (CAC PUCV)
Marlene Piña	Universidad de Valparaíso
Ana Prieto Santa	Universidad de Chile
Nicole Püschel Hoeneisen	Wildlife Conservation Society Chile
Laura Ramajo	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2
Marisol Reyes Muñoz	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Magdalena Rivera	Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS)
Camila Romero Muñoz	Universidad de los Andes
Sebastián Ruiz Pereira	Pontificia Universidad Católica de Chile
Robinson Saez Lazo	Centro Regional de Estudios Ambientales (CREA UCSC)
Carolina Salas Aceval	Subsecretaría para las Fuerzas Armadas
Gustavo San Martin	Independiente
José Sandoval Dìaz	Universidad del Bío Bío
Tomás Santa María	Universidad del Desarrollo
Gerardo Soto-Mundaca	Universidad de Chile
Maria Alejandra Troncoso Joffré	Universidad de La Serena
Constanza Troppa Tapia	Corporación Nacional Forestal (CONAF)

ANEXO 3.

Ana María Ugarte Caviedes	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2
Priscilla Ulloa	Ministerio del Medio Ambiente
María Valladares Antón	Universidad Católica del Norte
Haydée Ximena Vargas Mesa	Universidad de Chile
Andrea Vega Contreras	Universidad Adolfo Ibañez
Alda Vélez Pepe	Universidad de Valparaíso
Claudia Villarroel	Dirección Meteorológica de Chile (DMC)
Jaime Villegas Olavarría	Universidad Andrés Bello
Elizabeth Wagemann	Universidad Diego Portales
Gerardo Weisstaub	Universidad de Chile
Eleuterio Yañez Rodriguez	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Flavia Zacconi	Pontificia Universidad Católica de Chile
Daniela Zúñiga Rojas	Cape Horn International Center (CHIC)
Total de instituciones	**66**

ANEXO 4.

Anexo 4. Participación total comunidad científica talleres regionales

Nombre	Institución
Concepción	Rodrigo Abarca del Rio — Universidad de Concepción Denisse Alvarez — Universidad Santo Tomás Valeria Arriagada — Universidad de Concepción Ricardo Barra — Universidad de Concepción José Antonio Barrales Ruiz — Universidad San Sebastián Sara Betancur Sepúlveda — Universidad de Concepción Arturo Calderon Orellana — Universidad de Concepción Noelia Carrasco Henríquez — Universidad de Concepción Leonardo Castro Cifuentes — Universidad de Concepción Pedro Cisterna Gaete — ClimAmbiente Sergio Contreras Quintana — Universidad Católica de la Santísima Concepción Carlos Cornell Martínez — Universidad de Concepción Amanda De Armas Echevarria — Universidad de Concepción Francisco De la Barrera — Universidad de Concepción Carla Durán Palacios — Centro de Desarrollo Urbano Sustentable Paulina Espinosa Rojas — Universidad de Concepción Maribet Gamboa — Universidad Católica de la Santísima Concepción Luis GARCÍA SANTANDER — Universidad de Concepción Paúl Gómez Canchong — Universidad de Concepción Maria Lorena González Hurtado — Universidad de Concepción Fidelina González Muñoz — Universidad de Concepción Rodrigo González Saldía — Universidad de Concepción Tamara Gorena — Universidad de Concepción Eduardo Hernández — Universidad de Concepción Cristián Hernández Ulloa — Universidad San Sebastián Francisco Hevia Cruz — Universidad de Concepción Marcela Hidalgo Giubergia — Universidad de Concepción Patricia Huerta San Martín — Universidad de Concepción Natalia Iriarte Galaz — Universidad de Concepción

ANEXO 4.

Concepción

Martín Jacques Coper	Universidad de Concepción
Magdalena Jensen	Universidad de Concepción
Jorge Jiménez del Río	Universidad de Concepción
Alejandro Lara	Universidad de Concepción
Sebastián Larrere Cid	Universidad de Concepción
María Dolores López Belchí	Universidad de Concepción
Cristian Mardones	Universidad de Concepción
Andres Mejia	Universidad de Concepción
Belén Moya Navarrete	Universidad de Concepción
Pamela Muñoz Linford	Universidad de Concepción
Cristina Muñoz Vargas	Universidad de Concepción
Gabriel Olguín Orellana	Universidad de Concepción
Josefina Ortiz Chiang	Universidad de Concepción
Aníbal Pauchard Cortés	Universidad de Concepción
Marcelo Pavez	Centro Regional de Estudios Ambientales
Leonardo Peña Garcia	Fundación Manzana Verde
Beatriz Piderit	Universidad San Sebastián
Debora Ramirez Rojas	Fundación Manzana Verde
Gisela Ríos Gajardo	Universidad de Concepción
Anali Rosas	Universidad de Concepción
Daniel Ruiz Plaza de los reyes	Universidad de Concepción
José Sandoval Dìaz	Universidad del Bío Bío
Mauricio Schoebitz	Universidad de Concepción
María Jacqueline Sepúlveda Carreño	Universidad de Concepción
Martina Sepúlveda Zuñiga	Universidad de Concepción
Marcus Sobarzo Bustamante	Universidad de Concepción
Maureen Trebilcock	Universidad del Bío Bío
Tamara Ugarte Avilés	Universidad de Concepción
Cristian A. Vargas	Universidad de Concepción
Cristian Vásquez	Universidad de Concepción
Mabel Vega Coloma	Universidad del Bío Bío
Iván Vera Escalona	Universidad de Concepción
Rosa Vergara Retamales	Universidad de Concepción

ANEXO 4.

Región	Nombre e Institución
Valdivia	Gerardo Acosta — Universidad Austral de Chile Carolina Añazco Oyarzún — Universidad San Sebastián Rodrigo Arias Inostroza — Universidad Austral de Chile Consuelo Biskupovic — Universidad Católica De Temuco Claudio Bravo Lechuga — Centro de Estudios Científicos Claudio Bravo Linares — Universidad Austral de Chile Erika Briceño Ponce — Universidad Austral de Chile Aníbal Concha Meyer — Universidad Austral de Chile Carolina Contreras Duarte — Universidad Austral de Chile Jean Pierre Doussoulin — Universidad Austral de Chile Rodrigo Echeverría — Universidad Austral de Chile Alfredo Erlwein — Centro de Estudios Ambientales (CEAM UACh) Susana Espina García — Universidad Austral de Chile José Garcés-Vargas — Universidad Austral de Chile Ricardo Giesecke — Universidad Austral de Chile Humberto González — Universidad Austral de Chile Alvaro González Reyes — Universidad Austral de Chile Carolina Lizana Campos — Universidad Austral de Chile Rodolfo E. Mardones Barrer — Universidad Austral de Chile Cristina Morales Reyes — Universidad San Sebastián Lisandro Roco F. — Universidad San Sebastián Eliana Sánchez Montoya — Universidad Austral de Chile Eduardo R. Sanguinet — Universidad Austral de Chile Paula Torres Homez — Universidad Austral de Chile Guilherme Volpe — Universidad Austral de Chile

ANEXO 4.

Valparaíso

Nombre	Institución
Catalina Aguirre	Universidad de Valparaíso
Arnaldo Arancibia	Universidad de Viña del Mar
Jorge Arévalo	Universidad de Valparaíso
Ruben Avendaño Herrera	Universidad Andrés Bello
Lorena Bearzotti	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Marisol Belmonte Soto	Universidad de Playa Ancha
Paulina Bustos Peña	Universidad de Valparaíso
Andrea Calixto	Universidad de Valparaíso
Constanza Cárdenas Carvajal	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Claudio Carrasco Aldunate	Universidad de Valparaíso
Paula Celis Plá	Universidad de Playa Ancha
Ana Maria Cordova	Universidad de Valparaíso
Omar Cuevas	Universidad de Valparaíso
María José Díaz Aguirre	Universidad de Playa Ancha
Fabián Guerrero	Universidad Técnica Federico Santa María
Kinga Halmai Zapata	Nodo CIV-VAL
Carlos Huenchuleo Pedreros	Centro CERES
Samir Kouro	Universidad Técnica Federico Santa María
Jaime Letelier Pino	Instituto de Fomento Pesquero
Francisco Martinez Carreaux	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Veronica Molina	HUB Ambiental, Universidad de Playa Ancha
Paola Moraga Contreras	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Doris Oliva Ekelund	Universidad de Valparaíso
Rocio Parra Cortés	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Waldo Quiroz	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Gonzalo Riveros	Universidad de Valparaíso
Gabriele Rodrigues de Lara	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Francisca Rojas Hidalgo	Centro CREAS
Gustavo San Martin	Independiente
Michael Seeger	Universidad Técnica Federico Santa María
Maritza Sepulveda	Universidad de Valparaíso
Iván Sola	HUB Ambiental, Universidad de Playa Ancha
Daira Velandia Muñoz	Universidad de Valparaíso
Karen Yáñez Arellano	Universidad Técnica Federico Santa María

ANEXO 4.

Región	Nombre e Institución
Antofagasta	Fernando Alvarez Castillo_____Universidad Católica del Norte Carolina Cubillos_____Universidad de Antofagasta Cecilia Díaz Ávila_____Universidad Antofagasta Edelmira Gálvez Ahumada_____Universidad Católica del Norte Cristian Gorigoitia_____Universidad del Alba Beatriz Helena-Soto_____Universidad de Antofagasta Mailing Kong Avila_____Ilustre Municipalidad de Antofagasta Evelyn Melo Aguilera_____Universidad Católica del Norte Romina Pérez Salinas _____Ilustre Municipalidad de Antofagasta Víctor Quezada Reyes_____Universidad Católica del Norte Francisco Rivera Flores_____Universidad de Antofagasta Karen Rodríguez Vera_____Universidad Católica del Norte Felipe Sepulveda Unda_____Universidad de Antofagasta Janetti Signorelli Sentis_____Universidad de Antofagasta Alejandra Tello Zamorano_____Universidad de Atacama Yhurka Yañez Navarrete_____Universidad Católica del Norte Vicente Zetola Vargas_____Universidad Católica del Norte

ANEXO 4.

Región	Nombre e Institución	
Punta Arenas	Juan Carlos Aravena D.	Universidad de Magallanes
	Pamela Bahamóndez Morales	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
	Boris Barja Gonzalez	Universidad de Magallanes
	Nicolas Butorovic Alvarado	Universidad de Magallanes
	Cristiane Carvalho	Universidad de Magallanes
	Matías Castillo-Aguilar	Universidad de Magallanes
	Claudia Gómez Nome	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
	Ingrid Hebel	Universidad de Magallanes
	Pedro Hervé Fernández	Universidad de Magallanes
	Bibiana Jara Vergara	Universidad de Magallanes
	Claudia Maturana Bobadilla	Centro Internacional Cabo de Hornos
	Claudio Moraga	Fundación CEQUA
	Jaime Ojeda	Universidad de Magallanes
	Sergio Radic Schilling	Universidad de Magallanes
	Ariana Riquelme Troncoso	Nodo Laboratorio Natural Subantártico
	Laura Sánchez Jardón	Universidad de Magallanes
	Pamela Santibáñez Ávila	Universidad de Magallanes
	Yasna Segura	Universidad de Magallanes
	Pamela Soto-Rogel	Independiente
	Laura Villanueva	Universidad de Magallanes
	Gabriela Willer	Nodo Antártico
Total de instituciones		**37**

ANEXO 5.

Anexo 5. Establecimientos participantes talleres regionales Comunidad Escolar

Ciudad	Nombre e Institución
Concepción	Colegio Almondale Lomas, Colegio Chileno Árabe, Colegio Concepción Chiguayante, Colegio P. Luis Amigó, Colegio Sagrado Corazón de Jesús, Chillán, Colegio Santa Luisa, Colegio Villa Nonguén, Sebastián School.
Valdivia	Escuela Rural Huitag, Instituto Italia, INSAT, Inmaculada Concepción Valdivia, LARR (Liceo Armando Robles Rivera).
Valparaíso	Centro Educativo Luz de Esperanza, Colegio San Nicolás, Colegio Santa Clara, Escuela Básica Papudo.
Antofagasta	Escuela General Manuel Baquedano F-78 Escuela República de Argentina D-90 ICEDUC
Punta Arenas	Colegio Británico, Colegio Luterano, Escuela España, Escuela Villa Las Nieves, INSAFA, Liceo María Auxiliadora, Liceo Polivalente Sara Braun, Liceo San José.
Total de establecimientos	**27**

ANEXO 6.

Anexo 6. Instituciones participantes talleres regionales Comunidad Divulgación

Ciudad	Nombre
Concepción	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático Centro COPAS Coastal Centro INCAR Centro Interactivo de Ciencias, Artes y Tecnologías (CICAT) Colegio Almondale Lomas Colegio Chileno Árabe de Chiguayante Colegio Concepción Chiguayante Colegio P. Luis Amigó Colegio Sagrado Corazón de Jesús, Chillán Colegio Santa Luisa Colegio Sebastián School Colegio Villa Nonguén Comunidad El Viaje, ACHIPEC Laboratorio de Invasiones Biológicas, PAR Explora Biobío, PAR Explora Ñuble, Universidad de Concepción.

ANEXO 6.

Ciudad	Nombre
Valdivia	Ciencia Inquieta, CECREA, Diario Sostenible, Escuela Rural Huitag, Explora Los Ríos, Instituto Forestal (INFOR), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Remehue, INSAT, Instituto Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Humanidades UACh, Instituto Inmaculada Concepción, Instituto Italia, Instituto Milenio BASE, Laboratorio Natural Andes del Sur de Chile, Liceo Armando Robles Rivera, PAR Explora Los Ríos, SEREMI del Medio Ambiente de Los Ríos, Universidad Austral de Chile, Universidad Santo Tomás, Universidad de Chile.

ANEXO 6.

Ciudad	Nombre
Valparaíso	Artequin Viña del Mar, Centro Educativo Luz de Esperanza, Colegio San Nicolás, Hijuelas, Colegio Santa Clara, Escuela Básica Papudo, Escuela Pedro Alessandri, Explora Valparaíso, Municipalidad de Viña del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad de Valparaíso.
Antofagasta	C-TyS, Universidad de Antofagasta, Escuela General Manuel Baquedano, Escuela República de Argentina D-90, ICEDUC, Nodo Salares, PAR Explora Antofagasta, Universidad de Antofagasta.

ANEXO 6.

Ciudad	Nombre
Punta Arenas	Ciencia en Magallanes, Colegio Luterano, Escuela España, Escuela Villa Las Nieves, Fundación Planeta Agua, INSAFA, Instituto Antártico Chileno, Instituto Milenio BASE, Coalición de Jóvenes Antárticos, Liceo María Auxiliadora, Liceo Polivalente Sara Braun, Liceo San José, Liquenlab, Nodo Laboratorio Natural Subantártico, Par Explora Magallanes, The British School Punta Arenas, Universidad de Magallanes (UMAG), Centro IDEAL.
Total de instituciones	**71**

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

Gobierno de Chile

Comité Científico Asesor de Cambio Climático

ONU programa para el medio ambiente

NDC PARTNERSHIP



Comité Científico Asesor de Cambio Climático