

2021

# DOCUMENTO DE ALCANCES: SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR DE CAMBIO CLIMÁTICO

COMITÉ  
CIENTÍFICO  
DE CAMBIO  
CLIMÁTICO

## Contenido

Contenido	1
Resumen ejecutivo	3
1.	6
2.	6
3.	10
3.1.	11
3.1.1.	11
3.1.2.	12
3.1.3.	18
3.2.	26
3.2.1.	26
3.2.2.	27
3.2.3.	30
3.2.4.	33
3.2.5.	36
3.3.	43
3.3.1.	43
3.4.	57
3.4.1.	57
3.4.2.	61
3.4.3.	65
3.4.4.	67
3.4.5.	72
3.4.6.	77
3.5.	82
3.5.1.	82
3.5.2.	83
3.5.3.	88

3.5.4.	89
3.5.5.	90
3.5.6.	92
3.5.7.	92
3.5.8.	92
3.5.9.	93
3.6.	94
3.6.1.	94
3.6.2.	94
3.6.3.	95
3.6.4.	95
3.6.5.	96
3.6.6.	97
4.	98
5.	99
6.	99
7.	103
8.	124
8.1.	124
8.2.	151

## Resumen Ejecutivo

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) representan un enfoque ecosistémico basado en la comprensión científica del ciclo del carbono. Por definición las SBN poseen co-beneficios para la biodiversidad y además impactan positivamente la calidad de los suelos, aire y agua. Las SBN proporcionan opciones de mitigación costo-efectivas y proveen de opciones de adaptación. De las muchas definiciones existente el Comité Científico de Cambio Climático ha adoptado la siguiente definición de SBN "*Soluciones basadas en la naturaleza: acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que aportan al bienestar humano y proporcionan beneficios para el resto de la biodiversidad.*"

Entre las SBN más importantes están aquellas relacionadas con la protección, restauración y manejo de ecosistemas de bosques, el manejo del fuego, el uso del biocarbón como fertilizante a partir de desechos de agricultura, el manejo de nutrientes para limitar la emisiones de producto de la adición de fertilizantes nitrogenados, propender hacia una ganadería que potencie el carbón en el suelo, restaurar y proteger los humedales, la infraestructura verde, la reutilización de aguas lluvias y la reforestación en ciudades e incorporar con fuerza a los océanos dentro de las SBN. Para esto último es fundamental relevar el rol de los bosques de macroalgas, los fondos marinos y proteger la captura y enterramiento de carbono asociada a la "Bomba Biológica de Carbono" que incluye a macroalgas, krill, ballenas, entre otros". En este informe se analizan estas SBN y se proponen las recomendaciones resumidas a continuación.

De acuerdo con las directrices del IPCC de 2006, sólo se consideran en los inventarios de GEI los bosques gestionados, que han permanecido en mismo tipo de uso de la tierra por al menos 20 años. En el caso de Chile, estos bosques corresponden a aquellos que son manejados bajo la figura de planes de manejo que considera la ley de bosques y aquellos bosques nativos dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). A este respecto, es importante revisar la Ley de Bosques para para incrementar los incentivos al manejo y restauración de bosques nativos y generar mayores superficies que entren en la contabilidad. Por otro lado, también es importante

realizar una labor estratégica de conservación que permita aumentar la actual red de Áreas Protegidas para proteger aquellos ecosistemas que aún están sub-representados en el SNASPE y dotarlos a cada uno con un plan de manejo efectivo que considere el cambio climático y la protección de los stocks de carbono que poseen tanto sobre como bajo el suelo.

Es de suma importancia enfrentar el problema del uso de la leña como principal energético en las viviendas sobre todo en la zona centro sur de Chile. Esto requiere implementar medidas como subsidios y cambios tecnológicos, pero más ampliamente abordar en las barreras socioculturales para la conversión de uso de leña a otros combustibles menos contaminantes. Lo anterior debe ir asociado a un programa de mejoramiento en el aislamiento energético de las viviendas. Reducir el uso de leña no sólo tiene un impacto positivo en la biodiversidad y en la captura de carbono en los bosques, sino que además enormes beneficios sociales y en la salud de las personas.

Es importante considerar metas y objetivos de reducción de emisiones provenientes de incendios forestales. Esto también requiere avanzar en una institucionalidad que asuma y coordine la prevención de incendios mediante el diseño de paisajes resilientes, a través de una planificación y ordenamiento territorial que permita abordar riesgos de un modo adaptativo, favoreciendo la heterogeneidad del paisaje. Implementar acciones integrales que involucren capacitación y educación además del financiamiento de tecnología de monitoreo, prevención y mitigación de incendios forestales.

En la misma línea, se debe incluir dentro de los inventarios de emisiones chilenas, las emisiones y capturas asociadas a ecosistemas de humedales, incluidas las marismas y praderas. Estos actualmente no se contabilizan, sólo se consideran las transformaciones de humedales a otro uso de la tierra.

Una propuesta de SBN en el marco del Cambio Climático debería incluir una visión ecosistémica integrada (cuenca), en un contexto de ciclos naturales como los del agua y carbono y que considere las diferentes realidades de Chile.

La incorporación del océano en las SBN se traduce en una posibilidad concreta para el país de avanzar hacia un desarrollo más sustentable, que se verá reflejado en las localidades costeras que utilizan los recursos naturales

marinos. Relativo a las recomendaciones del conjunto de soluciones basadas en la naturaleza propuestas en Farias et al., (2019) se pondera:

1. Considerar los sumideros oceánicos en el presupuesto de carbono de Chile.
2. Inventariar ecosistemas carbono azul, y estimar la magnitud de los reservorios de carbono y las tasas de entierro de carbono, respectivas.
3. Valorizar y darles valor económico a todos los servicios ecosistémicos asociados a los ecosistemas carbono azul.
4. Incorporar servicios ecosistémicos asociados a marismas o bosques de macroalgas, en las Estrategias de Reducción de Riesgos Costeros dado todos sus co-beneficios.
5. Priorizar la protección ante la restauración. Los ecosistemas costeros son una reserva clave de carbono tanto para el corto plazo, en la biomasa viva, como a largo plazo en el sedimento (enterramiento); entonces es imperativo proteger las fuentes de carbono si queremos maximizar el entierro de carbono orgánico. Otra razón, para proteger los ecosistemas carbono azul, es porque no solo la restauración de los hábitats costeros marinos es de 100 a 400 veces más costosa que la restauración de hábitats terrestres, sino además porque la investigación sugiere que la restauración de hábitats costeros ha tenido solo éxito limitado.
6. Fortalecer, de manera sustantiva, la normativa o leyes para que se valore y proteja al océano y sus ecosistemas valiosos desde el punto de vista climático (como fondos marinos, humedales costeros, bosques de algas, etc.), esto debido al fortalecimiento de su labor tanto en adaptación como en mitigación al cambio climático; incluyendo como piso mínimo a nivel constitucional el principio de desarrollo sustentable (pilar social, ambiental y económico) y el principio precautorio.
7. Proponer planes de manejo apoyados en la observación *in situ* para todos los usos de recursos sujetos a explotación.
8. Gestionar financiamiento de acciones climáticas canalizadas por el gobierno con ayuda participativa de ONG especializadas y otros organismos de la sociedad civil.
9. Inventariar y estimar la magnitud de los reservorios de carbono en praderas.

## 1. Contexto

Durante el año 2020 el Ministerio de Medio Ambiente le ha solicitado formalmente al Comité Científico de Cambio Climático (C4) del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, la elaboración de un documento que analice las Soluciones Basadas en la Naturaleza y comente sobre su factibilidad de aplicación en Chile, como parte de la estrategia climática de Largo Plazo (ECLP) y que se plasme en las futuras Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), las cuales se deben actualizar cada 5 años. Como parte de este proceso el C4 le solicita al Dr. Pablo A. Marquet, coordinador de la mesa de Biodiversidad del C4, liderar este proceso, lo que se inicia con este documento.

## 2. Introducción

La reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas al sector energía, que representa casi el 80% de las emisiones del país, es sin duda de gran importancia para mitigar el cambio climático y alcanzar el objetivo del Acuerdo de París y el compromiso asumido por el país de carbono neutralidad al año 2050. Recientemente, sin embargo, otras alternativas basadas en reducir emisiones y potenciar la captura y secuestro de carbono en los ecosistemas han tomado relevancia, ya que son más transversales a una variedad de sectores (e.g., agricultura, ganadería, forestal, pesquería, entre otros) y a su vez se generan múltiples co-beneficios para la biodiversidad (incluidos los seres humanos), y los servicios que proveen los ecosistemas (ver Anexo 1). Se trata de las llamadas Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), Soluciones Climáticas Naturales o Soluciones Basadas en la Biodiversidad (Cohen-Shacham et al. 2016; Griscom et al. 2017; Marquet et al. 2019). Éstas enfatizan un enfoque ecosistémico consagrado en nuestra comprensión científica del ciclo del carbono y otros bioelementos, que sustenta por un lado las propuestas de mitigación emanadas del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y las propuestas por el Grupo de Trabajo III del IPCC (GTIII), (CBD 2009; Intergovernmental Panel on Climate Change 2014). Es importante enfatizar que las *SBN permiten abordar al mismo tiempo los desafíos de la crisis climática como también la grave crisis de biodiversidad por la que también atravesamos*. Las SBN proporcionan opciones de mitigación costo-efectivas, haciendo hincapié en la intensificación de los sumideros de carbono y sus co-beneficios para las personas (por ejemplo, la

mejora de la seguridad alimentaria, minoración de desastres naturales como oleaje, infraestructura verde) para la conservación y la biodiversidad (Griscom et al. 2017; Cohen-Shacham et al. 2019) y para la regulación hídrica en ciudades. Debido a estos co-beneficios, las SBN también dan sustento a la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, aportando directamente a los objetivos de servicios vitales del ecosistema, la biodiversidad, el acceso a agua dulce, medios de vida mejorados, dietas saludables y una seguridad alimentaria basada en sistemas alimentarios sostenibles (The Nature-Based Solutions for Climate Manifesto, 2019). No obstante lo anterior es importante tener en cuenta que a una escala global, la capacidad de las SBN de mitigar emisiones y secuestrar carbono se verá mermada por el cambio climático, por lo que es importante no perder de vista que lo primario es descarbonizar la economía y así usar todo el potencial de las SBN para sustentar la carbono neutralidad (Seddon et al. 2020).

El concepto de SBN se utiliza con distintos énfasis, pero todos comparten la noción de usar la biodiversidad, en forma directa o indirecta, para generar beneficios y aliviar problemas socio-ambientales. Griscom y colaboradores (Griscom et al. 2017, p. 11645) definen las SBN como *"conservation, restoration, and improved land management actions that increase carbon storage and/or avoid greenhouse gas emissions across global forests, wetlands, grasslands, and agricultural lands."* Por otro lado, la Comunidad Europea, quienes las han incorporado en su programa marco "Horizonte 2020" enfatizan un contexto que incluye, pero va más allá de la captura de carbono (European Commission and Directorate-General for Research and Innovation 2015, p.5) *"Nature-based solutions aim to help societies address a variety of environmental, social and economic challenges in sustainable ways. They are actions which are inspired by, supported by or copied from nature. Some involve using and enhancing existing natural solutions to challenges, while others are exploring more novel solutions, for example mimicking how non-human organisms and communities cope with environmental extremes. Nature-based solutions use the features and complex system processes of nature, such as its ability to store carbon and regulate water flow, in order to achieve desired outcomes, such as reduced disaster risk, improved human well-being and socially inclusive green growth. Maintaining and enhancing natural capital, therefore, is of crucial importance, as it forms the basis for implementing solutions. These nature-based solutions ideally are energy and resource-efficient, and resilient to change, but to be successful they must be*

*adapted to local conditions.*" Finalmente la IUCN propone la siguiente definición: "Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits." (Cohen-Shacham et al. 2016). En este contexto este comité adopta la siguiente definición

*"Soluciones basadas en la naturaleza: acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que aportan al bienestar humano y proporcionan beneficios para el resto de la biodiversidad."*

En la actualidad existen evaluaciones del potencial de las SBN a nivel de países como Canadá y Colombia que están en desarrollo y para Chile existe una propuesta preliminar de SBN que discutiremos en el cuerpo del informe (Marquet et al. 2021). Una de las evaluaciones del potencial de la SBN a nivel de país es la llevada a cabo recientemente por Fargione y colaboradores (Fargione et al. 2018) quienes cuantifican el potencial máximo de veintiuna soluciones previamente analizadas a nivel global por Griscom y colaboradores (Griscom et al. 2017) y relacionadas con la conservación, restauración y mejora de la gestión de la tierra y los ecosistemas para aumentar la captura y almacenamiento de carbono y reducir la emisión de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos. Ejemplos de estas medidas son la restauración de tierras de cultivo en pastizales, bosques y humedales, la disminución de la producción maderera, la reforestación en áreas urbanas y bosques nativos degradados, entre otras. De acuerdo con estos autores, dichas medidas pueden proporcionar una reducción máxima del 21% de las emisiones de los Estados Unidos (esto equivale a 1100 TgCO<sub>2e</sub> año<sup>-1</sup> utilizando el año 2016 como base de referencia y un costo de USD 100 por MgCO<sub>2e</sub>) y provienen principalmente del aumento de la retención de carbono en la biomasa vegetal y en los suelos. Además, podrían proporcionar importantes beneficios colaterales como el suministro de agua, el control de la erosión, la prevención de la proliferación de algas tóxicas y los fenómenos de hipoxia o "zonas muertas" en las zonas costeras asociados a la escorrentía de nutrientes procedentes de la agricultura, entre otros. Para el caso de Chile, Griscom et al. (2017) señala un potencial máximo de 41,56 TgCO<sub>2e</sub> año<sup>-1</sup>, donde la mayor contribución proviene de acciones de reforestación (36,32 TgCO<sub>2e</sub> año<sup>-1</sup>). Este análisis sugiere que las SBN podrían ser un gran apoyo a la meta de carbono neutralidad al 2050, cuya brecha es alrededor de 46 TgCO<sub>2e</sub> año<sup>-1</sup> y sin duda ameritan estudios específicos a escala del país.

Es importante señalar que el almacenamiento y secuestro de carbono se extiende mucho más allá de los bosques y es especialmente importante en las turberas, praderas naturales, manglares y humedales y en sedimentos marinos costeros, donde subyacen ecosistemas como pastos marinos, manglares y bosques de macroalgas; entre algunos. Por lo que la protección, restauración y manejo de estos ecosistemas es una prioridad mundial. De hecho, las Naciones Unidas declaró en marzo de este año a la década del 2021-2030 "*La década de la Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas*" y el Bonn Challenge se ha propuesto la meta de restaurar 150

Con formato: Fuente: Cursiva

millones de hectáreas al 2020 y 350 millones al 2030 con el objetivo de *“to restore ecological integrity at the same time as improving human well-being through multifunctional landscapes”*

Para asegurar la recuperación de la estructura, composición y función de la biodiversidad en todas las escalas, es importante mirar la salud de los paisajes en la que los distintos usos de suelo se conectan y coexisten de tal forma que potencian la resiliencia de los ecosistemas y los beneficios de la naturaleza hacia las personas frente al cambio climático. Esta visión integra la restauración de ecosistemas naturales y suelos degradados, la protección de cuencas para proveer de agua a comunidades y ecosistemas, la conservación de turberas, entre otros; generando mayores y mejores beneficios sociales en los contextos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Las zonas protegidas son soluciones basadas en la naturaleza que entregan variadas contribuciones a las comunidades, como la reducción de riesgos de desastres, beneficios económicos del turismo, asegurar la calidad y aprovechamiento del agua y el secuestro y almacenamiento efectivo del CO<sub>2</sub> en árboles y suelos.

Con formato: Subíndice

### 3. Ámbitos de las SBN

Tradicionalmente, las SBN se han evaluado en sectores asociados a bosques, agricultura, ganadería y pastizales, ciudades y humedales, y con menor énfasis en el ambiente marino y criósfera. En lo que sigue realizaremos un análisis general de las SBN en estos seis sectores, enfatizando aquellas SBN con mayor potencial de mitigación y adaptación para el país, donde Chile tiene una ventaja comparativa.

El análisis se ha estructurado de la siguiente manera, cuando se tiene la información, partiendo por una breve descripción de antecedentes de la SBN, seguido de su potencial de mitigación, co-beneficios, brechas de conocimiento, gobernanza y tecnología, propuestas de metas y/o indicadores, vinculaciones con sectores productivos y políticas, evaluación económica, y terminando con recomendaciones y próximos pasos.

### 3.1. Bosques

#### 3.1.1. Antecedentes

Entre las SBN más importantes a nivel mundial están aquellas relacionadas con la protección, restauración y manejo de ecosistemas boscosos. Es importante recalcar que las SBN por definición no deben sólo limitarse a la captura y secuestro de carbono, sino que **deben tener co-beneficios** para la biodiversidad (Tabla 2). En general, la captura en ecosistemas forestales se puede potenciar por distintos mecanismos: la aforestación, la reforestación y la restauración. Por aforestación se entiende, de acuerdo con los lineamientos del IPCC, a la acción de plantar árboles en áreas donde éstos no estaban históricamente presentes. Como práctica, no es considerada una SBN pues tiene costos importantes sobre la biodiversidad local y el ciclo del agua (e.g. Griscom et al. 2017, Fargione et al 2018, IPBES 2019, Seddon 2020). Siguiendo nuevamente los lineamientos del IPCC (IPCC 2019), por reforestación se entiende el recuperar la cobertura de bosques nativos degradados (sensu Vergara et al. 2019) en zonas originalmente con bosques que han sido deforestadas. Finalmente, la restauración es un concepto más amplio e implica recuperar un ecosistema y sus funciones asociadas, con el fin de que este sea autosustentable en el largo plazo. De acuerdo con la Sociedad para la Ecología de la Restauración (ver <http://www.ser.org>) la restauración ecológica se define como *“una acción planificada con el fin de asistir la recuperación de un ecosistema natural que ha sido degradado, dañado o destruido”*. Se entiende que un ecosistema ha sido restaurado cuando es capaz de sostenerse tanto funcional como estructuralmente. Esto es, cuando posee tanto los componentes como las funciones esenciales para mantenerse en el tiempo, y posee resiliencia ante los rangos naturales de variación en el medio biótico y abiótico (e.g. soportar condiciones naturales de estrés y perturbaciones). Por ejemplo, la capacidad de proveer agua a pesar de una sequía moderada. La restauración requiere de acciones como remoción de especies exóticas y re-introducción de especies nativas, así como de acciones de reforestación, para recuperar cobertura vegetal y promover la recuperación y formación de suelo, entre otras. La restauración es quizá la opción más completa por cuanto va más allá de plantar especies vegetales para potenciar la captura y el secuestro de carbono, incluyendo restaurar las funciones del ecosistema, su biodiversidad y ciclos biogeoquímicos asociados. En particular, la restauración de los suelos es fundamental, especialmente si consideramos que el reservorio de carbono en los primeros dos metros de

suelo puede llegar a ser el triple del que está presente en la atmósfera (~3,000 Gt C versus ~830 Gt C). Proteger los suelos contra la erosión y potenciar el almacenamiento de carbono son estrategias claves para mitigar el calentamiento global (e.g. Pautian et al. 2016).

### **3.1.2. Restauración y reforestación de ecosistemas Forestales**

**DEFINICIÓN.** De acuerdo a Griscom et al. (2017) y en el contexto de las SbN, por reforestación podemos entender la captura adicional de carbono generada a través del manejo que permita recuperar bosques degradados (*sensu* Vergara et al. 2019), además de la conversión de zonas no forestadas en zonas forestadas en áreas donde el bosque nativo es el tipo de cobertura original.

#### **POTENCIAL DE MITIGACIÓN**

Los bosques son el sector con mayor potencial de mitigación en Chile, ya que no sólo es el único que captura continuamente CO<sub>2</sub>, representando el -37% del balance de emisiones de GEI en 2016 (-65.492 TgCO<sub>2</sub>e) sino que es posible potenciar aún más esta capacidad. Cabe destacar que -69.646 TgCO<sub>2</sub>e corresponden a lo que los lineamientos del IPCC denominan Tierra Forestal (4.A) que incluye (MMA 2018, p. 79) "...las emisiones y absorciones de GEI generadas como resultado de cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono del suelo en Tierras Forestales que permanecen como tales y en Tierras convertidas en tierras forestales". De este total de balance, -81.194 TgCO<sub>2</sub>e corresponden a aportes del bosque nativo en forma de biomasa nueva de los cuales, cerca del 60% corresponden a la biomasa de bosques secundarios (renovales) (ver Tabla 1), 15% a Bosque Nativo bajo Planes de Manejo como se define en la Ley de Bosque Nativo, y un 25% a biomasa generada en bosques dentro de Parques Nacionales y Reservas.

El informe ODEPA/INFOR (2010) señala que de las 4,3 Mha de bosque nativo entre las regiones del Maule y Magallanes 3,076 Mha podrían ser utilizadas para realizar actividades de manejo según lo considerado en la Ley de Bosque nativo. De esta cifra, 762.611 ha cumplen con los criterios de altura para asegurar las intervenciones (>20 m) de las cuales, 533,214 ha podrían ser intervenidas sustentablemente en un horizonte de 20 años y si 464,609

ha se destinan a la reforestación en lugar de la producción de bioenergía (a través del enriquecimiento y el cercado del ganado) entonces el secuestro máximo previsto en un período de 20 años sería de 39,91 M tCO<sub>2</sub>e (a una tasa promedio de 4. 3 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> o 2 TgCO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>) aumentando a 124,98 MtCO<sub>2</sub>e en 30 años (a una tasa media de 8,97 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> o 4,2 TgCO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>). La diferencia se atribuye al hecho de que las especies forestales nativas evaluadas crecen a un ritmo mayor después de 20 años. Este estudio debe actualizarse, pero mientras tanto proporciona un buen punto de referencia para esta vía.

Por otro lado, el Núcleo TESES de la Universidad Austral (TESES 2020) identifica superficies potenciales de bosque nativo para el incremento del secuestro de carbono entre las regiones de Maule y Los Lagos. En este territorio se identifican 1.718.867 hectáreas susceptibles de ser reforestadas y que en su conjunto capturarían 20.651.574 Ton de CO<sub>2</sub> al año, 1.231.439 hectáreas de bosques degradados y otras 653.726 hectáreas de bosques manejables, que capturarían 18.914.953 y 10.585.885 ton de CO<sub>2</sub> al año, respectivamente. Sin embargo, estas estimaciones incluyen actividades de aforestación que no se consideran como SBN, por lo que debieran ser ajustadas.

En total, el trabajo de Marquet et al. (2021) estima que las SBN del sector forestal (que incluye también un mejoramiento en la gestión de las plantaciones a través de un incremento en la longitud de las rotaciones forestales), podría llegar a aproximadamente 36 TgCO<sub>2</sub> adicionales a los que ya captura principalmente a través del manejo del fuego, recolección de leña, evitar la degradación y deforestación y reforestación.

## **CO-BENEFICIOS**

Por co-beneficios se entienden aquellos impactos positivos sobre la biodiversidad, los suelos, la calidad del aire y el agua y las personas, que una SBN puede brindar, además de promover la mitigación y adaptación ante el cambio climático. Evitar la deforestación y promover la conservación y restauración de los bosques nativos en zonas donde esto sea posible (incluso en zonas urbanas), son acciones críticas para combatir el calentamiento global y aminorar la crisis de extinción que afecta a la biodiversidad mundial (e.g., IPBES 2019) ya que proveen hábitat y recursos para una gran variedad de

especies. De la misma manera, los bosques nativos adecuadamente conservados son fundamentales para el ciclo del agua, potenciando la recarga y asegurando la sustentabilidad del servicio de provisión de agua. Su reemplazo por otros usos de la tierra (i.e. agrícola, forestal o praderas) puede generar grandes alteraciones (e.g., Jones et al. 2016, Becerra-Rodas et al. 2019 Lara et al. 2019, Marquet et al. 2019). De manera similar, los bosques proveen una serie de beneficios para las personas, tales como provisión de agua, alimento, contención de inundaciones, también mejora la calidad de aire, potencian la captura de carbono en el suelo, aminoran temperaturas extremas, y entregan una serie de beneficios culturales.

### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, TECNOLOGÍA Y GOBERNANZA**

Existen importantes brechas de conocimiento respecto de la restauración de especies y ecosistemas forestales en Chile. Estas tienen que ver con condiciones de regeneración de especies y el rol de éstas en procesos ecosistémicos debido a la falta de estudios de largo plazo (ver Marquet et al. 2019). Por otro lado, existen importantes brechas en relación a la capacidad de los bosques nativos de capturar carbono durante el ciclo anual, y a través de estados sucesionales, por lo que se hace necesario contar con una red de torres de Eddy Flux para medir el ciclo del carbono en bosques. Finalmente, es necesario potenciar la investigación en los impactos que tendrá el Cambio Climático sobre la dinámica de los ecosistemas de bosques y su capacidad para capturar carbono entre otros servicios.

El principal marco regulatorio de actividades de manejo, reforestación y restauración de bosques nativos es la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283). Por un lado, es importante incluir definiciones conceptuales y métricas asociadas a la degradación forestal, la reforestación y la restauración, y tratar ambos temas en los reglamentos. La falta de definición y métricas no permite avanzar y aplicar la ley. Por otro lado, esta ley contempla incentivos para los pequeños y medianos propietarios. Sin embargo, tal como se señala en Marquet et al. (2019, 2021) los mecanismos de financiamiento para que los pequeños propietarios realmente manejen, restauren y conserven sus bosques nativos son complicados, y los montos no cubren los costos reales y de oportunidad de la conservación, lo que explica la falta de éxito. De hecho, en 2013, esta ley fue evaluada por el gobierno chileno (DIPRES, 2013). Los resultados no fueron

alentadores, y según el informe "el programa ha logrado resultados marginales considerando las metas ya que en el período 2009-2012 las áreas de bosque nativo bajo manejo han aumentado desde 0,13% hasta 0,25% de las áreas potenciales (9,5 millones de hectáreas). Esto no es un indicio de que el programa no esté funcionando ya que como resultado de los esfuerzos institucionales el área de bosques manejados aumentó de 11.984 hectáreas en 2009 a 23.555 hectáreas en 2012". Hasta la fecha no se ha publicado ninguna otra evaluación de este programa que sigue en marcha. Por otro lado, Manushevich y Bier (2016) simularon las implicaciones de uso de la tierra de diferentes propuestas de política que surgieron en el debate de la Ley de Bosque Nativo de Chile, con el fin de evaluar qué tan efectivas serían las políticas de la Ley en términos de "proteger, recuperar y mejorar los bosques nativos, con el fin de asegurar la sostenibilidad forestal y la política ambiental". Estos autores llegaron a la conclusión de que es necesario aumentar los pagos de incentivos y reducir los costos de transacción para mejorar la conservación y restauración de los bosques en Chile. El mejoramiento de esta ley es urgente si queremos alcanzar los compromisos de mitigación que ha asumido el país. Lo mismo que el establecimiento de programas de investigación centrados en una caracterización profunda del ciclo del carbono y del agua en los bosques nativos del país, para cerrar una brecha de conocimiento que es fundamental para la toma de decisiones.

Por otro lado, en el año 2015 se forma el Consejo Forestal, el cual propone la Política Forestal 2015-2035. Entre los ejes estratégicos de esta propuesta de política está la protección y restauración del patrimonio forestal y en particular el objetivo de restaurar el patrimonio forestal afectado por catástrofes e intervenciones antrópicas, sobre todo asociadas a incendios, erupciones volcánicas y aluviones. En este contexto se propone como meta al 2025 haber restaurado "200.000 ha con nueva cobertura arbórea y arbustiva, principalmente con especies nativas, en áreas prioritarias determinadas por el Servicio Forestal del Estado." También está el objetivo de manejar el bosque nativo con fines de protección y conservación con la meta de que al 2025, "Una superficie del orden de 450.000 ha de bosques nativos se encuentra incorporada a manejo con fines de protección y conservación, bajo los criterios descritos en el objetivo de impacto." Y que "Al menos 200.000 ha de bosques nativos se han incorporado plenamente a manejo con fines de protección y conservación."

Las acciones de reforestación/restauración requieren contar con invernaderos, adecuada provisión de semillas y el conocimiento para potenciar su germinación y establecimiento en condiciones de terreno (e.g., Bannister et al. 2018, León-Lobos et al. (2018). Estos y otros cuellos de botella asociados a la disponibilidad de recursos humanos calificados, representan importantes desafíos tecnológicos que pueden alargar los tiempos de implementación de estas acciones.

### **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS**

Los indicadores para esta SBN, tienen que ver con la extensión en superficie donde se aplicará cada una de las SBN del sector forestal. Por ejemplo, para el caso de la reforestación/restauración se sugiere duplicar en los próximos 10 años, la superficie a forestar con bosque nativo bajo la actual NDC, hasta llegar a una meta de 500.000 hectáreas. Con la meta de que al menos un 30% se realice en zonas asociadas a cursos de agua, aumentando el cinturón de vegetación a un mínimo de 30 metros (Becerra-Rodas et al. 2019).

### **HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN DE METAS**

Esta es una SBN cuya implementación puede ser compleja. Por ejemplo, las acciones de reforestación y restauración pueden estar sujetas a diversos obstáculos, desde la disponibilidad de semillas, la capacidad de generar un número adecuado de plántulas en viveros, hasta la disponibilidad de mano de obra para labores de despeje, remoción de especies exóticas, protección de las plántulas de herbívoros introducidos, disponibilidad de agua, plantado y posterior monitoreo. Por último, está la necesidad de identificar sitios adecuados para labores de reforestación y su disponibilidad. Una vez que estas barreras han sido superadas, lo cual afecta el tiempo de implementación probablemente en al menos un par de años, la reforestación se puede iniciar. Pero sus efectos no son inmediatos, sino que acumulativos en un horizonte de al menos 20 a 30 años, a lo largo de los cuales se potenciará la captura en forma acumulativa. Al respecto existe un trabajo pionero realizado en el 2010 por ODEPA e INFOR, el cual evalúa el potencial de captura de acciones de mitigación (ODEPA/INFOR 2010) a un horizonte de 20 y 30 años. Para el caso de acciones asociadas por ejemplo a evitar degradación y manejo del fuego el horizonte de implementación puede ser significativamente más corto y su impacto casi instantáneo

## **EVALUACIÓN ECONÓMICA**

ODEPA/INFOR (2010) realizó un primer intento de estimar el costo de la implementación de las actividades de gestión y manejo para fomentar la captura de CO<sub>2</sub> (incluidas las plantaciones suplementarias con especies nativas, la remoción de la biomasa muerta y la colocación de cercas para evitar la herbivoría del ganado); el coste estimado fue de 620,88 US\$ ha<sup>-1</sup>. Esta estimación podría ser actualizada por INFOR, ya que esta institución dispone de datos para estimar los costes de implementación, los costes de oportunidad y la cantidad de carbono secuestrado por las diferentes actividades de gestión forestal. Del mismo modo, Birch et al (2010) exploraron el potencial económico de un cambio en el uso de la tierra de pastoreo de ganado a bosque nativo restaurado utilizando diferentes tasas de descuento y realizaron un análisis de costo-beneficio considerando la provisión de diferentes servicios ecosistémicos, incluyendo el secuestro de carbono, mediante el uso de un simulador forestal espacialmente explícito. Estos autores evalúan la rentabilidad de actividades de restauración activa en la zona de Valparaíso estimando el "beneficio social neto" de la restauración o el cambio neto en el valor de los servicios ecosistémicos asociados al cambio en la cobertura del suelo, menos los costes asociados a la reforestación, llegando a un valor de 725 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Más recientemente, Schlegel et al. (2020), evaluó costos asociados a las actividades de restauración señalando que, para el caso del bosques jóvenes del tipo forestal siempreverde, estos alcanzan a los USD 3,776 ha<sup>-1</sup>, de los cuales alrededor de 3.500 son por una sola vez y 196 USD ha<sup>-1</sup> corresponden a costos de mantención anuales.

## **RELACIÓN CON INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA**

Tal como se mencionó en la sección asociada a brechas de gobernanza, las actividades de reforestación/restauración se consideran en distintas iniciativas y cuerpos legales, tales como la Ley 20.283 de recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, la Política Forestal 2015-2035 y otros instrumentos más sectoriales como la [Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales](#) 2017-2025 (ENCCRV), todos los cuales consideran acciones de reforestación/restauración de ecosistemas forestales con bosques nativos y con los cuales se pueden generar importantes sinergias.

La reforestación y restauración de ecosistemas boscosos y los cuerpos legales y otras iniciativas que los promueven, chocan con otros instrumentos de política pública como es el Programa de Suelos Degradados (SIRSD) que es un instrumento de fomento del Ministerio de Agricultura establecido por la Ley 20.142 de 2010 y cuyo objetivo es recuperar el potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y que desincentiva actividades de restauración de suelos agropecuarios que poseían cubierta forestal nativa en el pasado. A este respecto es importante alinear los beneficios de la Ley del Bosque Nativo con los del programa SIRSD para dar opciones a la reforestación y restauración del bosque nativo.

### **PRÓXIMOS PASOS / RECOMENDACIONES**

Existen una serie de acciones de orden legislativo que son importantes impulsar. Por ejemplo una modificación de la Ley 20.283 y 20.142. De la misma manera fomentar la investigación sobre el ciclo del carbono en los bosques y el impacto del cambio climático en su capacidad de captura y secuestro de carbono. Finalmente, las brechas tecnológicas pueden generar un retraso importante en la reforestación por lo que representan una prioridad el contar con un suministro adecuado de semillas, y plántulas así como invernaderos certificados para la restauración y reforestación del bosque nativo.

#### **3.1.3. Manejo del Fuego**

**DEFINICIÓN.** Conjunto de estrategias transversales de prevención y control de incendios, que incluya al Estado, empresas y organizaciones ciudadanas.

### **ANTECEDENTES**

En cuanto a la emisión dentro de esta categoría de Tierras Forestales, la leña representa 19 TgCO<sub>2e</sub> (9.4 TgCO<sub>2e</sub> provienen del bosque nativo) y los incendios un total 3,33 TgCO<sub>2e</sub> en el año 2016 (1.4 TgCO<sub>2e</sub> corresponden a bosque nativo), mientras que la cosecha de bosque nativo representa 0,578 TgCO<sub>2e</sub> (Tabla 1). El fuego exige una mención especial ya que solo el año 2017 se quemaron más de 570.000 hectáreas incluyendo incendios en Tierras forestales, Tierras de cultivo y Pastizales, y cuyo control demandó un gasto de más de 350 millones de dólares, produciendo emisiones de CO<sub>2e</sub> muy

significativas (González et al. 2020) estimadas en 57.406 kt CO<sub>2</sub>e, más de lo que emitió el sector transporte terrestre y la generación eléctrica en conjunto ese mismo año. Los incendios forestales son capaces de alterar cualquier tendencia en emisiones sobre todo si se presentan eventos extremos como el del 2017 (pero también, aunque con menor intensidad, en 1998, 1999, 2002, 2014 y 2015). Tal como lo señala Marquet et al. (2021) estas cifras sitúan al control del fuego como uno de las SBN más importantes. De hecho, según Astorga y Burschel (2019), entre 2003 y 2017 se quemó una superficie total de 1.427.000 hectáreas, con un promedio de 95.000 hectáreas por año, de las cuales aproximadamente 50.000 hectáreas eran de bosque nativo.

### **POTENCIAL DE MITIGACIÓN.**

En general una hectárea quemada genera en promedio 0,0001 TgCO<sub>2</sub>e, por lo que si lográramos ejercer un manejo, permite reducir el número de hectáreas que no doble el promedio entre 2003 y 2017 se mitigarían en promedio unas 9,05 TCO<sub>2</sub>e (Marquet et al. 2021). En este contexto, el desarrollo de estrategias transversales de control y prevención de incendios, que incluya al Estado, empresas y organizaciones ciudadanas es fundamental.

### **CO-BENEFICIOS.**

Al igual que la SBN asociada a restauración/reforestación, el manejo del fuego provee una amplia gama de co-beneficios. Primero a la biodiversidad ya que la reducción en el número de hectáreas de bosque nativo quemadas implica la mantención de ecosistemas que en muchos casos son únicos. Por ejemplo, Carvajal y Alaniz (2019) señalan que durante los últimos 18 años, más del 50% de los fuegos han ocurrido en fragmentos remanentes del bosque costero y otros ecosistemas amenazados y con bajo nivel de representatividad en el Sistema Nacional Áreas Protegidas del Estado. Estas pérdidas directas de biodiversidad y hábitats, se suman a la pérdida en la productividad de los suelos y sus contenidos de carbono y nitrógeno. Por otro lado, los fuegos afectan negativamente la calidad del agua y el aire, generando material particulado que puede tener impactos negativos en la salud de las personas y de especies que vivan en esos ecosistemas forestales.

### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

Existen una serie de brechas de conocimiento, empezando por los cambios

que induce el fuego en la densidad/área basal de los bosques, o cómo el fuego afecta el ciclo de vida de la descomposición de la madera (i.e. emisión de gases). Desconocemos también las respuestas de la vegetación y del combustible post-incendios, y los procesos de retro-alimentación que podrían existir. Finalmente desconocemos las variables socioecológicas que se asocian a la existencia de focos de incendios y que podrían ayudar en su prevención.

En el contexto de la gobernanza, se pueden identificar diversas brechas, como la necesidad de fortalecer la institucionalidad existente en la prevención de incendios. Apresurar la Ley que crea el servicio Forestal y potencia la dedicación de CONAF a la prevención de incendios. Generar acciones que permitan un mayor articulación de esfuerzos públicos y privados. Impedir por medio de una Ley el cambio de uso de suelo post-incendios ya que genera incentivos perversos y reemplazo del bosque nativo por otros usos. Potenciar la "silvicultura preventiva" en los planes de manejo, en relación a la capacidad de fiscalización y seguimiento. Sería muy importante incluir la prevención y control de los incendios en una futura Ley de Suelos.

Es importante avanzar en la adopción o generación de tecnologías que permitan monitorear en tiempo real la ocurrencia de incendios. Por otro lado es importante generar buenos modelos que permitan identificar zonas de riesgo a fin de focalizar la prevención y generar modelos que permitan entender el comportamiento del fuego en los bosques de Chile bajo distintas condiciones meteorológicas para predecir su severidad y comportamiento. Por otro lado, es importante avanzar en tecnologías que permitan cortar el suministro de electricidad en las líneas de tendidos eléctricos durante eventos de incendios, junto con la fiscalización de la aplicación de las mismas.

### **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS.**

Los indicadores asociados a esta SBN pueden ser muy variados como por ejemplo: 1. Superficie (ha) quemadas; 2. Número de incendios; 3. Superficie de bosques afectada por incendios; 4. Superficie con recurrencia (requema o incendios con solape espacial) por año; o 5. Severidad/intensidad lo que se correlaciona con el efecto ecológico de un incendio. Para el caso del manejo del fuego se sugiere como meta el mantener la cantidad de hectáreas afectadas por debajo del promedio histórico (2003-2017) de 95.000 ha. Si se

evitara que este promedio se duplique, se estaría mitigando alrededor de 9 TgCO<sub>2</sub>e (Marquet et al. 2021).

### **HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN DE METAS.**

Esta SBN puede tener una rápida implementación y requiere por un lado asegurar recursos para la prevención y control, con campañas que sean holísticas e incluyan la educación de las personas considerando que en Chile los incendios son en general producidos por el hombre.

### **PRÓXIMOS PASOS**

Avanzar en la implementación de metas e indicadores asociados a esta SBN para poder incluir acciones concretas en la ECLP y las próximas NDCs, y generar evaluaciones económicas del impacto que representan los incendios forestales en Chile.

### **OTRAS SBN DEL SECTOR FORESTAL**

Hay que destacar que existen diferencias sustanciales en la captura y secuestro de CO<sub>2</sub> al comparar el bosque nativo con especies forestales exóticas, sobre todo con aquellas destinadas a productos de vida corta (producción de celulosa, papel), los que liberarán en un corto tiempo el carbono capturado. Las especies nativas, además, proveen de mayores co-beneficios para la naturaleza y las personas (ver capítulos de ecosistemas y uso de suelo en Marquet et al. 2019). No obstante lo anterior, existen una serie de acciones que podrían hacer que las plantaciones potencien su capacidad de contribuir a la captura y reduzcan sus efectos negativos sobre el ciclo del agua y la biodiversidad. Entre estas acciones están la de aumentar el tiempo de rotación, generar plantaciones mixtas, potenciar el uso de especies nativas y generar paisajes heterogéneos o agroforestales para impedir la propagación de perturbaciones como plagas e incendios.

Es de suma importancia enfrentar el problema del uso de la leña como principal energético en las viviendas sobre todo en la zona centro sur de Chile. Esto requiere implementar medidas como subsidios y cambios tecnológicos, pero más ampliamente abordar en las barreras socioculturales para la conversión de uso de leña a otros combustibles menos contaminantes. Lo anterior debe ir asociado a un programa de mejoramiento en el aislamiento

energético de las viviendas. Reducir el uso de leña no sólo tiene un impacto positivo en la biodiversidad y en la captura de carbono en los bosques, sino que además enormes beneficios sociales y en la salud de las personas. De acuerdo a Marquet et al. (2021) el potencial de mitigación de esta SBN asciende a 8TgCO<sub>2</sub>e

*Tabla 1: Emisiones y capturas asociadas al sector Bosque nativo que se relaciona con las SBN (datos de INGEI 2018).*

<b>BOSQUE NATIVO</b>	<b>-81.19</b>
Crecimiento secundario (renovales)	-48.536
Parques Nacionales y Reservas	-20.189
Bosques nativos bajo plan de manejo	-12.47
Leña	9.4
Fuego	1.4
La restauración del bosque	-1.1487
<b>HUMEDALES</b>	<b>0</b>
Conversión de humedales	-0.0126

Tabla 2: Co-beneficios de los bosques. Resumimos las publicaciones que aportan pruebas de que un determinado tipo de servicio del ecosistema se mejora debido a la implantación de una vía. Las celdas en blanco indican casos en los que no identificamos pruebas claras de servicios de los ecosistemas mejorados. Véase la sección Detalles de los métodos para la definición de cada uno de los cuatro tipos de servicios (biodiversidad, agua, suelo, aire). Fuente: Griscom et al. 2017.

	Biodiversidad (alfa, beta, gama)	Agua (filtración, control de inundaciones)	Suelo (enriquecimiento)	Aire (filtración)
<b>Bosques</b>				
Evitar la conversión forestal	"Los resultados indican el valor irremplazable de los bosques primarios continuos para la conservación de la biodiversidad"	"Mejora de la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos, mitigación de la sequía; prevención de la sedimentación y regulación del agua para las represas hidroeléctricas"	Retención de agua y regulación del flujo. Mantiene las propiedades biológicas y físicas del suelo asegurando la salud y la productividad de los bosques.	Beneficios de la reforestación para la disminución del ozono. Múltiples estudios de modelización describen los beneficios para la salud de la filtración del aire por los bosques.
Reforestación	Las plantaciones de árboles pueden crear corredores de vida silvestre y zonas de amortiguación que mejoren la conservación biológica.	Mejora de la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos, la mitigación de la sequía, la prevención de la sedimentación y la regulación del agua para las represas hidroeléctricas.	Aumento medido de la fauna del suelo en los sitios reforestados. Durante las condiciones de sequía, las lombrices de tierra sólo sobrevivieron en las zonas reforestadas.	Beneficios de la reforestación para la reducción de la capa de ozono. Múltiples estudios de modelización describen los beneficios para la salud de la filtración del aire por los bosques.
Manejo de Bosques	"La riqueza de especies de	La cosecha que elimina	La recolección de madera	

Naturales	invertebrados, anfibios y mamíferos disminuye a medida que aumenta la intensidad de la tala".	grandes proporciones de biomasa aumenta los flujos de agua y las inundaciones, alterando así la integridad de los ecosistemas de agua dulce.	que elimina grandes cantidades de desechos leñosos reduce las propiedades biológicas y físicas del suelo, con lo que disminuye la salud y la productividad.	
Mejoras a las plantaciones	Las plantaciones forestales que consideran el tipo de comunidad, como policultivos sobre monocultivos, nativos sobre exóticos, replicación de patrones de perturbación, rotaciones más largas y raleo temprano pueden mejorar la biodiversidad.			
Manejo del Fuego	Un manejo de los incendios que imite los regímenes históricos naturales de los incendios puede mejorar la biodiversidad forestal.	Los bosques que sobreviven a los incendios (es decir, la reducción de los incendios silvestres catastróficos) contienen más materia orgánica, las propiedades del suelo mejoran y los períodos de recuperación más cortos mejoran la infiltración y la	Los bosques que sobreviven a los incendios (es decir, la reducción de los incendios silvestres catastróficos) contienen más materia orgánica, las propiedades del suelo mejoran y los períodos de recuperación más cortos mejoran la infiltración y la	"Posibilidad de pequeños aumentos de la mortalidad debido a aumentos abruptos y drásticos de las concentraciones de materia particulada procedentes del humo de los incendios forestales".

		retención del agua.	retención del agua.	
Evitar la recolección de leña	La recolección de leña reduce el material saproxílico utilizado como alimento y hábitat para los organismos y la fauna de los bosques.	La limitación de la compactación del suelo durante la recolección de leña reduce la erosión y aumenta la retención de agua en los bosques.	La cosecha de madera para combustible causa la compactación del suelo y una perturbación que puede cambiar las propiedades químicas del suelo.	Las cocinas más eficientes mejoran la calidad del aire interior y "reducen la incidencia de la mortalidad y las enfermedades".

## **3.2. Agricultura**

### **3.2.1. Antecedentes**

Considerando que a nivel global el sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de Suelo (AFOLU por si siglas en inglés), contribuyen aproximadamente un 23% de las emisiones de GEI (IPCC, 2019b), reducir emisiones de este sector es importante para poder lograr carbono neutralidad y al mismo tiempo asegurar la seguridad alimentaria. En el caso de Chile, el sector agricultura representa aproximadamente el 7 % de las emisiones (ver tabla 3, INGEI, 2018). Aunque el aporte es relativamente menor, el sector es muy vulnerable al cambio climático, ya que Chile tiene una alta tasa de tierras degradadas, algunas por desertificación (definida como degradación de la tierra en áreas áridas y semiáridas, UNCCD 1994) y el sector es el mayor usuario de agua del país (Aitken et al. 2016). Procesos asociados a la desertificación como erosión del suelo, salinización secundaria y el sobrepastoreo tienen un impacto negativo en el suministro de servicios ecosistémicos en tierras áridas, en particular en la producción de alimentos y de forrajes. Otros impactos incluyen la disminución de productividad primaria y aumento de erosión del suelo por viento y además una disminución del secuestro de carbono en la tierra. Adicionalmente a estos impactos bio-físicos y sobre ecosistemas, existe amplia evidencia de que la manera en que se practica la actividad agropecuaria tiene impactos sobre seguridad hídrica y otros aspectos socio-económicos, incluidos desigualdad de género y migración (Capítulo 3, IPCC 2019b). Debido a todos estos antecedentes es importante promover SBN en el sector agricultura para mitigar y adaptarse al cambio climático. A continuación, se describen brevemente cuatro SBN relevantes para Chile. En términos generales todas las medidas se pueden clasificar dentro del denominado Manejo Sustentable de la Tierra (Sustainable Land Management, SLM) y sus co-beneficios se describen en la Tabla 4.

Tabla 3: Emisiones y capturas asociadas al sector agricultura que se relaciona con las SBN (datos de INGEI 2018).

	INGEI (2018) TgCO <sub>2</sub>
AGRICULTURA	12.8016
Fermentación entérica	4.682
Gestión del estiércol	2.0221
Suelos agrícolas	4.4836
Aplicación de la Urea	0.357
El cultivo de arroz	0.1337
Encalado	0.0884
Conversión de pastizales (tierras de cultivo)	1
Quema de Residuos Agrícolas	0.0348

### 3.2.2. Biocarbón (biochar) como manejo de residuos agropecuarios.

#### DEFINICIÓN

Aumento del secuestro de CO<sub>2</sub> en el carbono del suelo mediante la modificación de los suelos agrícolas con biocarbón producido por la conversión de residuos de cultivos en carbono recalcitrante a través de la pirólisis.

#### ANTECEDENTES

El biocarbón es el carbono obtenido a partir de la pirólisis de materia orgánica (residuos orgánicos), y puede aumentar significativamente el carbono del suelo.

El potencial de biocarbón para secuestrar el carbono depende del suministro de materias primas adecuadas. Este ha surgido como una opción para la gestión de los residuos orgánicos que generan altas emisiones de CO<sub>2</sub>, además de la contaminación del suelo y el agua. Tal como señala Marquet et al. (2021) el biocarbón ofrece una oportunidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, y aumentar la eficiencia en el uso del nitrógeno. Dado que se produce utilizando residuos orgánicos que son parte importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los sectores agrícolas y forestales, representa una oportunidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y la producción de ecofertilizantes y biomasa para producir energía limpia.

### **POTENCIAL DE MITIGACIÓN**

El potencial de mitigación del biocarbón se relaciona con la cantidad de residuo orgánico disponible para la pirólisis. Griscom et al. (2017) calculan un potencial total global de 300 Tg Ce año<sup>-1</sup>. Fargione et al. (2020), por otro lado, reportan que el biocarbón tiene un potencial medio de mitigación de 100 Tg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> y un máximo de 135 Tg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> para el caso de EEUU. Según Lehman (2009) es una opción de secuestro de carbono de bajo costo y alta permanencia debido a la estabilidad al ser un tipo de carbón casi elemental. Para el caso de Chile, Marquet et al. (2021) estiman que la generación y adición en los suelos de biocarbón derivado de residuos de la actividad agrícola asociada a cultivos anuales podría mitigar la emisión de 0,11 Tg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>, sin embargo, es importante considerar que estos valores dependen directamente de la composición de los desechos pirolizados. Si bien el biocarbón muestra gran potencial como SBN, aún no se conoce bien su huella energética, por tanto resulta arriesgado proponerlo como una SBN, sin pasar antes por otras enmiendas como compostaje de residuos agropecuarios y sin asegurarse de que efectivamente la tecnología de pirólisis usada asegura la captura neta de carbono. La evidencia disponible al respecto efectivamente señala que la producción de biocarbón permite captura neta (Peters et al. 2015).

### **CO-BENEFICIOS**

En general, las SBN en agricultura, además de reducir las emisiones de carbono, amonio, metano y óxido nitroso, tienen el potencial de remediar y mejorar la fertilidad del suelo y, por tanto, la productividad agropecuaria y el

secuestro de carbono, promoviendo la biodiversidad, a la vez que mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes y agua. Además, reducen la contaminación e impactos negativos sobre la biodiversidad de ríos y lagos como sucede cuando se agrega un exceso de fertilizantes.

Por ejemplo, un biocarbón con un alto contenido en nutrientes y una elevada capacidad de intercambio catiónico podría aplicarse a suelos degradados y pobres en nutrientes, ya que permiten la retención de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo además del agua. Por otro lado, el biocarbón puede aumentar el pH del suelo, lo que podría ayudar a recuperar los suelos ácidos a los que se les ha añadido un exceso de fertilizantes nitrogenados amoniacales (véase Marquet et al. 2021, para mayores detalles). Además, funcionan como soporte de bioinoculantes, aprovechan los residuos agrícolas, y mejoran la capacidad de retención de humedad y por lo tanto hay mejor aprovechamiento del agua. Es importante mencionar que las propiedades y tipo de biocarbón dependen de la materia prima usada y el proceso de pirólisis al que es sometido. Una planta de biocarbón también puede generar energía a partir de la biomasa que utiliza por lo que potencia aún más su capacidad de reducción de emisiones. Por último, se ha estudiado el biocarbón en suelos contaminados con metales, y tiene efecto en la disminución de biodisponibilidad por lo que podría ser una alternativa para la remediación de este tipo de suelos.

### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

Faltan estudios que entreguen información de captura y calidad de biocarbón y su capacidad de secuestrar carbono en el suelo para distintos tipos de residuos y suelos. Aunque existen diversas iniciativas asociadas a la Universidad de Concepción, Universidad de la Frontera, y varios proyectos FONDECYT sobre el tema (véase Marquet et al. 2021).

Los procedimientos de pirólisis son bien conocidos y existen distintas alternativas tecnológicas disponibles. Habría que seleccionar aquellas que se aplican mejor a las condiciones de las distintas regiones del país. No obstante esto es importante considerar la logística del transporte y almacenaje de residuos que permita un flujo adecuado para la planta y no haga que las emisiones netas, considerando el transporte de los residuos, sean positivas.

## **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS**

Existen distintos indicadores, tales como las toneladas de biocarbón producido por año o la capacidad instalada por región del país. Se propone como meta la generación de una planta de biocarbón por macrozona. Sin embargo es necesario realizar un análisis de la disponibilidad de residuos. Idealmente se debieran establecer metas regionales como por ejemplo que un 10% de los predios de una región usen biocarbón y que se elimine la práctica de quema de residuos vegetales (quemadas invernales) por la generación de biocarbón.

## **HORIZONTE TEMPORAL DE APLICACIÓN**

Se estima que un horizonte de 10 años permitiría un adecuado desarrollo e implementación de esta tecnología.

## **PRÓXIMOS PASOS**

Se recomienda una evaluación de la capacidad de captura neta de carbono por medio de esta tecnología para despejar potenciales dudas respecto de su uso en Chile. También es posible instalar la solución de biocarbón dentro del ámbito de manejo de residuos, en vista de la incertidumbres actuales, brechas tecnológicas y brechas de conocimiento como la información sobre las huellas energética y de agua. Al incorporarlo dentro de una meta más amplia, se incentivaría que los productores no quemaran residuos y puedan transitar a un manejo sostenible. Por ejemplo, podrían haber incentivos para que los agricultores en vez de quemar los rastrojos, los envíen a una planta de pirólisis o compostaje cercana.

También se sugiere cuantificar la materia prima disponible para generar biocarbón y sobre eso ajustar una meta para la utilización del biocarbón.

### **3.2.3. Manejo de nutrientes (nitrógeno y fósforo)**

#### **DEFINICIÓN**

Reducción en las emisiones de N<sub>2</sub>O gracias a la reducción del uso de fertilizantes y a la mejora de los métodos de aplicación en las tierras de cultivo.

Al reducir la aplicación excesiva de fertilizantes (mejorando el momento, la colocación y la forma de aplicación y haciendo un mayor uso del estiércol), se puede mejorar significativamente la eficiencia sin afectar negativamente a los rendimientos de los cultivos.

## **ANTECEDENTES**

Uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento de las plantas es el Nitrógeno (N), el que suele estar limitado en los suelos agrícolas. Casi todos los cultivos utilizan la fertilización nitrogenada, cuya intensidad de uso varía en función del volumen y la composición de los insumos. El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el óxido nítrico (NO) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) se emiten como consecuencia del uso de fertilizantes nitrogenados, y su abundancia relativa depende del tipo de cultivo, el tipo de fertilizante utilizado, el contenido de agua del suelo, el pH, y las condiciones climáticas, entre otros factores (Erb et al., 2017). Además, la lixiviación de N del suelo a cuerpos de agua superficiales o subterráneos y al océano afecta la calidad del agua y la biodiversidad de la flora y fauna (Fowler et al., 2013).

En Chile, el uso de fertilizantes se ha incrementado sustancialmente en los últimos años (35% de incremento en el valor de las importaciones de urea en los últimos 10 años), llegando a 169 kTon de Nitrógeno en el año 2014 (González, 2019). Esta, desgraciadamente, es una tendencia mundial.

## **POTENCIAL DE MITIGACIÓN**

El uso de fertilizantes nitrogenados genera emisiones directas e indirectas de alrededor de 1,56 Tg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> (INGEI, 2018), e incluye la contribución directa e indirecta del nitrógeno inorgánico y las emisiones de la aplicación de la urea. Esta cifra representa aproximadamente el 13% del total de las emisiones agrícolas en Chile, segundo en el inventario. La reducción de la aplicación excesiva de fertilizantes mediante un mayor uso de estiércol o la selección adecuada del momento de aplicación de los nutrientes, la forma y la colocación de la fertilización pueden promover mejoras en la eficiencia sin afectar el rendimiento de los cultivos (Griscom et al., 2017). Existen alternativas tecnológicas para mejorar el uso de las fuentes utilizadas, por ejemplo para el reemplazo de urea por fertilizantes más eficientes ambientalmente o uso de inhibidores.

## **CO-BENEFICIOS**

El manejo de nutrientes posee importantes beneficios para la biodiversidad acuática de ríos, lagos y humedales que se pueden ver drásticamente alterados al aumentar la carga de nutrientes que les llegan. Por otro lado, el manejo de los nutrientes tiene impactos positivos sobre la calidad del agua y suelos (ver Griscom et al. 2017).

## **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

Es necesario acortar las brechas en relación a obtener información que permita que las aplicaciones de nutrientes sean concordantes con los requerimientos de cada cultivo. También es importante generar mayor información respecto del impacto de los fertilizantes nitrogenados sobre el carbono del suelo.

Sabemos que las importaciones de fertilizantes en Chile son mayores que en la mayoría de los países. Es un mercado que presiona como estrategia el sobre uso de los fertilizantes por su bajo costo. Hay muchos productores que a pesar de tener asesoría permanente de profesionales, de igual forma aplican exceso de fertilizantes, por lo tanto, hay que apuntar a un uso racional por parte de los agricultores, quizás con una regulación más estricta en su venta.

Existen una gama importante de tecnologías que podrían adoptarse en Chile para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes. Entre estas tenemos: la gestión del nitrógeno en tiempo real y específica para cada predio, la prueba rápida no destructiva del estado del nitrógeno en las plantas, diseño de nuevos tipos de fertilizantes de liberación lenta y controlada, la gestión de nutrientes específica para cada predio y el uso de inhibidores de la ureasa y de la nitrificación para disminuir las pérdidas de nitrógeno (véase un revisión en Xiang et al. 2008).

## **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS**

Potenciales indicadores para esta SBN son: el porcentaje de productores que utilizan tecnología de mitigación, la extensión del área agrícola incluida en programas de manejo de nutrientes. La generación de programas de certificación de uso de nutrientes y calidad de agua permitiría generar metas

asociadas a la extensión de tierra agrícolas certificadas.

### **HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN DE METAS**

Se estima que la implementación de indicadores y metas para esta SBN debiera tomar entre 5 y 10 años.

### **PRÓXIMOS PASOS**

Respecto al manejo de los nutrientes se recomienda: 1) condicionar los subsidios en programas de fertilización a la presentación de un programa de manejo. 2) Generar un mapa de zonificación regional que permita declarar zonas saturadas por nitrógeno y poder regular, y establecer zonas sensitivas al nitrato. No es una meta, sino que es un habilitante para generar una meta. 3) Se recomienda avanzar hacia un registro de compra y aplicación de productos para generar mapas de microcuencas gestionado por un regulador. Es importante saber lo que se aplica, cuánto y dónde. 4) Dado el impacto de los fertilizantes sobre cuerpos de agua asociados es importante generar monitoreos no sólo de fertilizantes, sino que debería incluir las aguas adyacentes a las cuencas y predios evaluados, ya que el nitrógeno es móvil y llega al agua (agua con alto contenido de nitrato). La generación de normas secundarias de calidad del agua que impidan el uso excesivo de fertilizantes puede ser una alternativa. En base a ese diagnóstico se debe avanzar en medidas para hacer el uso racional de fertilizantes, incorporando el clima como una variable importante ya que la condición de temperatura y pluviometría puede tener un gran impacto en la forma en que el N se volatiliza o lixivia.

Por último, el programa de recuperación de suelos degradados debiera incentivar el uso de fertilizantes ambientalmente amigables, particularmente mejorando la transferencia tecnológica y capacitación de productores en el correcto uso de fertilizantes. Además es importante educar a los agricultores de los efectos negativos de la sobre-fertilización como la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero. Un primer paso para levantar las alertas, puede ser la generación de un mapa de zonificación regional para declarar zonas saturadas por nitrógeno y poder regular a partir de ello.

#### **3.2.4. Árboles en tierras de cultivo**

## **DEFINICIÓN**

Secuestro adicional de carbono en la biomasa arbórea por encima y por debajo del suelo y carbono del suelo debido a la integración de los árboles en las tierras de cultivo a niveles que no reduzcan el rendimiento de los cultivos. Esto incluye cortinas rompevientos/cinturones de protección y cultivos en callejones (Griscom et al. 2017),

## **ANTECEDENTES**

La incorporación de árboles en las tierras de cultivo puede desarrollarse mediante prácticas como la agrosilvicultura y el incremento de la cobertura de árboles en las tierras de cultivo. Esta última puede aplicarse mediante elementos estructurales del paisaje, como cortavientos, cinturones de protección, setos, franjas entre otras. La agrosilvicultura y el aumento de la cobertura arbórea en las tierras de cultivo son prácticas muy importantes, porque promueven diversos servicios ecosistémicos y reducen las externalidades negativas para el medio ambiente y la sociedad (Rosa-Schleich et al., 2019; Torralba et al., 2016). Según la opinión de los expertos, el desarrollo de setos y cortavientos puede contribuir a la mitigación y adaptación del cambio climático a través de aumentar el carbono orgánico del suelo (SOC) (Hernández-Morcillo et al., 2018). Los sistemas productivos que incluyen árboles en las tierras de cultivo pueden secuestrar mayores cantidades de carbono, que otros sistemas, a través de la biomasa arbórea y subterránea (Abbas et al., 2017).

## **POTENCIAL DE MITIGACIÓN**

Los árboles en tierras de cultivo tienen un alto potencial para reducir emisiones. Siguiendo el razonamiento de Griscom et al. (2017) se estima que el potencial de mitigación de esta SBN podría llegar a 2.26 Tg C año<sup>-1</sup> (Marquet et al. 2021).

## **CO-BENEFICIOS**

El plantar árboles en tierras de cultivo, promoviendo así paisajes heterogéneos de tipo agroforestal, decrece la erosión y aumenta la recarga de agua, además de potenciar el control biológico de plagas. El uso de sistemas forestales al

borde de los campos agrícolas cercanos a cuerpos de agua sirven de filtro para agroquímicos, fertilizantes, antibióticos y pesticidas, evitando así contaminarlos. Estas prácticas promueven la conservación de la biodiversidad al aumentar la disponibilidad de hábitat y recursos, la conectividad y la protección de los cultivos, la producción, entre otros (Rosa-Schleich et al., 2019).

Otro co-beneficio importante de ésta SBN tiene que ver con que los árboles en zonas de cultivo actúan como biofiltros para agroquímicos fertilizantes, antibióticos y pesticidas, los que son retenidos con lo que se evita contaminar aguas cercanas, promoviendo la salud de los ecosistemas y la biodiversidad. Estas prácticas debieran ser sinérgicas con las de reforestación y utilizar únicamente especies nativas para potenciar los co-beneficios para el agua y biodiversidad.

#### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

Una de las brechas importantes es identificar qué combinaciones de especies son más beneficiosas dependiendo del tipo de cultivo y situación climática así como su funcionalidad asociada (polinización, etc).

Es importante superar brechas de gobernanza que impiden incorporar áreas no productivas con potencial de reforestación con especies nativas dentro de los predios a programas de reforestación, cercos vivos. Esto se debe a la disociación de los programas de fomento agrícola y CONAF que separa lo que es suelo agrícola de suelo forestal generando que superficies con potencial de reforestación se desaprovechan por falta de bonificación. Además es importante generar incentivos para generar sistemas agroforestales en el Programa de Suelos Degradados.

No se visualizan brechas tecnológicas que puedan impedir las actividades que implican estas prácticas y que sean distintas de las mencionadas para el caso de reforestación/restauración.

#### **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS**

Como indicador se recomienda el uso de las hectáreas que pasen a una condición agroforestal.

## **HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN DE METAS**

Las actividades asociadas a esta SBN tienen un efecto que aumenta en un horizonte de 20 a 30 años dependiendo de las especies nativas utilizadas y las condiciones climáticas de la zona intervenida.

## **PRÓXIMOS PASOS**

Lo más urgente respecto de esta SBN es generar incentivos a nivel local para su adopción esto pasa por generar subsidios que consideren en forma holísticas bosques y agricultura, además de sistemas de certificación que promuevan la integración de los árboles en los campos agrícolas.

### **3.2.5. Mejora del carbono en el suelo en tierras de pastoreo**

#### **DEFINICIÓN**

Esta SbN hace referencia al incremento adicional en captura de carbono en el suelo de las praderas bajo pastoreo producto de técnicas de manejo del pastoreo.

#### **ANTECEDENTES**

Los pastizales son capaces de secuestrar grandes cantidades de carbono (Lorenz y Lal, 2018) incluso con mayor resiliencia que los bosques. La gestión de las tierras de pastoreo es un componente clave en el ciclo del carbono y el nitrógeno y es una variable clave que puede modificarse para afectar a las reservas de carbono (Henderson et al., 2015). Comúnmente, la optimización del pastoreo implica una disminución de las tasas de carga en las zonas de pastoreo excesivo y un aumento de las tasas de carga en las zonas de pastoreo insuficiente (Fargione et al., 2018). Sin embargo, pruebas recientes sobre las prácticas de pastoreo y los servicios de los ecosistemas indican que el tiempo entre los eventos de pastoreo es tanto o más importante que las tasas de pastoreo, y el "pastoreo adaptable de múltiples potreros" ha surgido como un sistema de planificación del pastoreo que mejora la producción y el secuestro de carbono (Stanley et al., 2018).

#### **POTENCIAL DE MITIGACIÓN.**

La incorporación de carbono en el suelo en tierras de pastoreo también posee un importante potencial de mitigación. Considerando un valor conservador de tasas de acumulación de carbono en el suelo en praderas manejadas Marquet et al. (2021) llegan a una estimación preliminar de 2,34 Tg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> como potencial de mitigación asociada a esta SBN.

### **CO-BENEFICIOS**

Esta SBN posee importantes co-beneficios para la biodiversidad al generar menores perturbaciones para insectos y plantas. Además un manejo del pastoreo adecuado redundará en menor consumo de agua, y mejora la capacidad del suelo para retener agua (Griscom et al. 2017).

### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

Existen importantes brechas de conocimiento para Chile. Empezando por una línea base del contenido de carbono en los suelos de Chile y en las praderas sujetas a pastoreo y como esta varía de acuerdo al clima, especies vegetales y carga ganadera. Por otro lado, es importante tener información de base sobre el número de predios y cabezas bajo actividades que podrían calificar bajo esta SBN.

Existen varias iniciativas regenerativas asociadas a actividades ganaderas y lecheras en Chile, las que podrían ser potenciadas gracias a incentivos legales a prácticas que incentiven la captura de carbono en suelos de praderas bajo pastoreo a través del manejo y mecanismos de certificación nacionales.

Muchos predios agrícolas y ganaderos realizan análisis de suelos en laboratorios que no quedan registrados ni son georeferenciados. La información contenida en estas muestras debiera poder utilizarse, con la debida autorización y tecnología, para un programa nacional de monitoreo del carbono y otros compuestos en el suelo.

### **INDICADORES Y METAS PROPUESTAS**

Entre los indicadores están el número de cabezas de ganado bajo un régimen de pastoreo que potencia el carbono en el suelo, como la ganadería regenerativa. Otro indicador es el número de predios bajo este tipo de manejo

y finalmente existen indicadores de eficiencia de producción (carbono equivalente por kilo de carne). Sin embargo, no es posible colocar metas en este minuto sin tener más información respecto de la situación basal. Un incremento al doble de lo que ya existe dentro de los próximos 5 años parece ser una meta alcanzable.

### **HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN DE METAS**

Se estima que la implementación de estrategias de manejo del pastoreo que mejoren el carbono en el suelo de praderas podrían implementarse gradualmente en un horizonte de 5 años.

### **PRÓXIMOS PASOS**

Es importante generar políticas e iniciativas que se hagan cargo de manera eficiente y efectiva de las brechas en nuestro conocimiento y que fomenten a través de fondos de concursos priorizados, el establecimiento de las líneas bases de carbono en el suelo que nos permitan monitorear y evaluar el impacto de los manejos agrícolas y ganaderos en las emisiones Gases de efecto Invernadero.

Al igual que para el caso forestal, el indicador en este sector corresponde a hectáreas bajo alguna de las SBN aquí propuestas. Esto pasa por cuantificar lo que ya existe en términos de tierras que ya están usando algunas de estas SBNs y proponer metas futuras. En relación a esto último, y considerando que en la actualidad existen 2.123.943 hectáreas dedicadas a cultivos anuales y permanentes, o en forrajeras sembradas o barbecho o descanso (ODEPA 2019), una meta de un 10% en alguna de las SBN recomendadas para el sector, aparece como razonable, en un horizonte de 5 a 10 años. Para el caso de la actividad ganadera, ODEPA (2019) señala la existencia de 129,023 predios con ganado bovino de carne y leche con dispar cantidad de animales (un 60% posee menos de 10 cabezas) totalizando uno 2,8 millones al 2017, de los cuales 500.000 son vacas lecheras. En este contexto la transformación de un 10% de la masa ganadera a alguna de las SBN en ganadería aparece como una meta razonable en un período de 5 a 10 años.



Tabla 4 Co-beneficios asociados a la agricultura y pastizales. Resumimos las publicaciones que aportan pruebas de que un determinado tipo de servicio del ecosistema se mejora debido a la implantación de una vía. Las celdas en blanco indican casos en los que no identificamos pruebas claras de servicios de los ecosistemas mejorados. Véase la sección Detalles de los métodos para la definición de cada uno de los cuatro tipos de servicios (biodiversidad, agua, suelo, aire). Fuente: Griscom et al. 2017.

Vía	Biodiversidad (alfa, beta, gama)	Agua (filtración, control de inundaciones)	Suelo (enriquecimiento)	Aire (filtración)
Agricultura y pastizales				
Evitar la conversión de los pastizales	Hábitat importante para las aves que anidan y se alimentan.	Los pastizales permanentes proporcionan un "control de las inundaciones biológicas" y mantienen el equilibrio hídrico del ecosistema asegurando recursos hídricos adecuados.	"Los macroinvertebrados del suelo son presas importantes para la cría de aves zancudas en los pastizales húmedos de las tierras bajas".	
Biocarbón			La adición de biocarbón mejora la calidad del suelo y la fertilidad en las regiones templadas.	
Manejo de nutrientes de las tierras de cultivo	Aumento de la riqueza y la abundancia de las especies de peces..	Beneficios asociados con la mejora de la calidad del agua potable, mayores oportunidades de	Una mejor gestión de los nutrientes mantiene la fertilidad del suelo.	"La gestión precisa de los nutrientes del suelo puede reducir las emisiones de amoníaco y óxido nítrico".

		recreación y beneficios para la salud.		
Agricultura de conservación		Reduce la demanda de agua para la agricultura con cultivos de cobertura apropiados.	Reduce la erosión del suelo y la redistribución manteniendo la profundidad del suelo y la retención del agua.	
Árboles en zonas de cultivos	La agroforestería proporciona un hábitat para las especies y favorece la conectividad.	Control de la erosión y recarga de agua.	Reducción de la erosión del suelo.	La plantación de árboles ayuda a capturar las partículas del aire y los gases contaminantes.
Pastoreo - Manejo de animales				
Pastoreo - Intensidad óptima	Un gradiente de pastos intensivos a pastos extensivos reduce la perturbación general de las interacciones entre plantas e insectos.	Casi el 70% del uso del agua para el ganado se produce durante el pastoreo en las granjas, las prácticas de pastoreo controlado pueden reducir el uso del agua en los pastos controlados.	El sobrepastoreo puede reducir la capacidad de los suelos para atrapar contaminantes y provocar la liberación de estos y otros sedimentos en suspensión.	
Pastoreo -Legumbres en los pastos	La presencia de legumbres en la pradera conduce a una mayor diversidad de insectos herbívoros y		"Las leguminosas prestan otros servicios ecológicos, como la mejora de la estructura del suelo, la protección	

	depredadores.		contra la erosión y una mayor diversidad biológica".	
Pastoreo - Alimento mejorado				
Mejoramiento del cultivo de arroz		La alternancia de drenaje húmedo, seco y de media estación de los campos de arroz irrigados reduce la demanda de agua para la agricultura(152). El uso de aguas grises en la agricultura puede reducir el consumo bruto de agua.		

### **3.3. Humedales**

#### **3.3.1. Antecedentes**

Dado que existe una variada gama de definiciones del concepto de humedal, para el presente documento se utiliza la definición dada por RAMSAR, donde se entiende humedales como "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (Ramsar, 2013). De esta forma, de manera general, se incluyen humedales estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y lagunas costeras mixohalinas), lacustres (humedales asociados con lagos), ribereños (humedales asociados a ríos), palustres (turberas, pantanos) y los humedales costeros. Además, se incluyen los humedales artificiales.

La conservación y/o restauración de los sistemas de humedales constituye una SBN con una multitud de servicios de gran valor social, económico y ambiental, tales como mitigación de impactos por inundaciones, absorción de contaminantes, retención de sedimentos, recarga de acuíferos, hábitats para animales, aves y plantas y captura de CO<sub>2</sub>, almacenamiento de biomasa y enterramiento de carbono entre muchos otros. Dentro de estos servicios destacan los asociados a la provisión de agua, y por lo tanto, medidas de protección para conservar los humedales y sus servicios, tendrán beneficios en particular para asegurar la no interrupción del ciclo del agua y por ende su disponibilidad, aportando especialmente a la adaptación al cambio climático. Los humedales se consideraban como un recurso de biodiversidad estático, sin embargo, se ha avanzado hacia un enfoque donde se consideran las muchas funciones y beneficios que estos ecosistemas proporcionan a la sociedad (Maltby et al., 2013).

La restauración de humedales es la renovación de la estructura y función de los humedales que han sido drenados o perdidos como resultado de actividades humanas. Los humedales que han sido drenados y convertidos a otros usos a menudo conservan las características del suelo y la hidráulica y, por lo tanto, pueden restaurarse. La restauración de humedales puede ocurrir en tiempos muchísimo más rápidos comparado con la restauración de otros

sistemas, sin embargo, en general, la mejor manera (y la más costo eficiente) de prevenir una mayor pérdida de valor ecológico y económico debido a la degradación de los humedales es eliminando las presiones que provocan su pérdida y degradación.

Para poder restaurar humedales dañados es fundamental implementar medidas adecuadas. Por ejemplo, en el caso de la función de humedales como sumideros de carbono, es necesario y urgente tener una comprensión clara de los cambios del carbón orgánico en el suelo (COS) (Xu et al., 2019; Yang et al., 2020). El COS de los humedales está influenciado por una gran cantidad de factores, como la hidrología, la vegetación, el clima, las propiedades del suelo y los patrones de uso del suelo. Estos factores y sus interacciones son extremadamente complejos y es importante monitorear los cambios en el COS después de la restauración de humedales de manera de potenciar la capacidad de sumidero de carbono de los humedales restaurados (Jackson et al., 2017; Xu et al., 2019).

En el caso de los humedales construidos, pueden ser opciones innovadoras para manejar la contaminación proveniente de efluentes domésticos en áreas urbanas y periurbanas (Mancilla Villalobos et al., 2013) así como también para efluentes industriales, lo que ofrece una oportunidad única considerando la legislación nacional que se basa en concentraciones en cada efluente pero no considera la suma de las concentraciones de todos los efluentes vertidos a un humedal. Los humedales construidos se caracterizan por imitar de forma controlada procesos que se dan en la naturaleza para tratar el agua y mejorar su calidad, han sido utilizados en diferentes partes del mundo. Se utilizan principalmente en el tratamiento secundario y terciario de las aguas residuales domésticas, y son capaces de eliminar una variedad de contaminantes, incluidos sólidos en suspensión, material que demanda oxígeno, nutrientes, patógenos, metales y metaloides (De Klein & Van der Werf, 2014; Frantzeskaki et al., 2019). Al mismo tiempo, pueden actuar como sumideros de carbono cuando se captura CO<sub>2</sub> en la biomasa. Sin embargo, es bien sabido que los humedales también producen cantidades sustanciales de gases de efecto invernadero CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Especialmente el N<sub>2</sub>O, resultante de la nitrificación y desnitrificación, es un GEI con 300 veces mayor poder radiativo que el CO<sub>2</sub>. Para evaluar la sostenibilidad ambiental de los humedales artificiales, es necesario evaluar el beneficio del sumidero de carbono y la desventaja de las emisiones de GEI (De Klein & Van der Werf, 2014; Ingrao

et al., 2020). A pesar de esto, la idea central de la construcción de humedales es evitar la degradación de los humedales naturales debido al vertido de contaminantes, y en consecuencia mantener los servicios ecosistémicos de los humedales naturales incluyendo el almacenamiento de COS.

### **Potencial de mitigación**

Su potencialidad como sumideros de carbono dependerá del manejo que se de o de su estado de conservación, ya que en caso de que la tasa de productividad no supere la de degradación, pueden convertirse en una fuente neta de emisión de carbono a la atmósfera (Dinsa & Gameda, 2019; Villa & Bernal, 2018).

A pesar de solo representar un pequeño porcentaje de la superficie de la tierra (entre 3,2% y 9,7%; Melton et al., 2013; Mitsch et al., 2013; Villa & Bernal, 2018), varios estudios reportan que los humedales son importantes sumideros de carbono que almacenan alrededor de un tercio de la reserva de carbono del suelo orgánico del mundo (Gallant et al., 2020; Lal, 2008; Xu et al., 2019). Sin embargo, se estima que a nivel mundial se ha perdido el 50% de los reservorios de carbono de los humedales (Griscom et al., 2017). Mitsch et al., 2013, estiman que los humedales a nivel mundial pueden ser sumideros netos de carbono de aproximadamente 830 Tg / año de carbono con un promedio de 118 gC m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> de retención de carbono. La mayor parte de esa retención de carbono ocurre en humedales tropicales / subtropicales. Sin embargo, el papel de los humedales como sumideros de carbono varía mucho según el tipo hidrogeomórfico del humedal y su ubicación dentro del paisaje (Bernal & Mitsch, 2013). Además, aunque los ecosistemas de humedales secuestran carbono en su suelo, su capacidad real de sumidero de carbono depende del balance neto de sus flujos de carbono. Las emisiones de metano, en particular, dificultan la capacidad de muchos humedales de agua dulce para funcionar como sumideros netos de carbono por su potencial efecto como gas de efecto invernadero, 28 veces superior al dióxido de carbono (Bastviken et al., 2011).

En el caso de turberas, la información existente con respecto a tasas de acumulación de turba en la Patagonia es relativamente limitada. Mientras que en el hemisferio norte se cuenta con estudios que involucran el análisis de cientos de núcleos de turba (> 1.300 núcleos) (Korhola et al. 1995), en la región de la Patagonia las estimaciones emplean la información derivada del

análisis de menos de una centena de núcleos obtenidos entre  $-45^{\circ}$  S y  $-65^{\circ}$  S. En promedio, las turberas de la Patagonia comenzaron a acumular carbono hace  $13.249 \pm 430$  años y tienen una profundidad de  $5,6 \pm 0,3$  m. Se estima que la tasa promedio de acumulación de turba en la Patagonia es de  $0,43 \pm 0,02$  mm  $a^{-1}$ , equivalente a una tasa de acumulación aparente de carbono de  $12,25 \pm 0,55$  g C  $m^{-2} a^{-1}$  (Hoyos-Santillan y Mansilla, 2021). Considerando el área total de turberas en la Patagonia (4,5 millones de hectáreas en Chile y Argentina), y la tasa aparente de acumulación de carbono en el largo plazo actualizada ( $12,25 \pm 0,55$  g C  $m^{-2} a^{-1}$ ), se estima que estos ecosistemas podrían acumular 550 mil toneladas de carbono anualmente. Por su parte, considerando el área total de turberas de las regiones de Aysén y Magallanes ( $\approx 3,5$  millones de hectáreas) (CONAF, 2017; CONAF y CONAMA, 2006), es posible estimar que las turberas localizadas en estas regiones podrían contribuir anualmente a la acumulación de 430.000 toneladas de carbono ( $\approx 13$  millones de toneladas de carbono entre 2020 y 2050). Esta cantidad podría parecer pequeña en comparación con los 95 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> que se proyecta emitirá Chile en 2030 (Gobierno de Chile, 2020). Sin embargo, el hecho de que las turberas funcionen como sumideros, y no como fuentes emisoras de carbono, garantiza la conservación del importante reservorio de carbono que representan, mismo que es 4,7 veces superior al de la biomasa aérea de todos los bosques de Chile (Hoyos-Santillan et al. 2019). El caso diametralmente opuesto sería que, debido a intervención humana o al cambio climático, las turberas de la Patagonia se comportasen como fuentes emisoras de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por ejemplo, la extracción de la cubierta vegetal de las turberas o de turba podría ejercer impactos negativos cuasi-permanentes en estos ecosistemas, destruyendo el acrotelmo donde se fija el dióxido de carbono, y junto con ello eliminando a las poblaciones de metanotrofos simbioses del Sphagnum, liberando cantidades importantes de metano y dióxido de carbono. A partir de las tasas de acumulación de turba presentadas previamente, la regeneración de una capa de 20 cm de espesor de turba podría tomar 400 años en la región de Aysén, y 500 años en la región de Magallanes. Aunque esta estimación es meramente ilustrativa, pues asume que se mantiene constante la tasa de acumulación de turba los pasados 18 mil años, hace evidente la necesidad de evaluar cuantitativamente el impacto real de la extracción de turba sobre la dinámica del carbono en la Patagonia. Esto tiene relación directa con las actividades de extracción de turba, ya que es importante dejar de considerar, de manera equivocada, que es posible explotar la turba de manera sostenible, ignorando

el hecho de que la turba es un recurso no renovable en el corto-mediano plazo (Evers et al. 2016).

El caso de los humedales costeros, o marismas, Farías et al. (2019) indican la alta tasa de producción primaria neta de estos ecosistemas, que fluctúa entre 92- 280 Tg C año<sup>-1</sup> y contribuyen en hasta un 15 % de la acumulación total de carbono en los sedimentos marinos. La conservación, restauración y uso de hábitats costeros con vegetación en soluciones de ingeniería ecológica para la protección costera son promisorios (Duarte et al., 2013) y el costo de esta restauración es altísimo (Bayraktarov et al., 2016), por lo que proteger es la mejor opción.

### **POTENCIAL PARA LA ADAPTACIÓN**

En el caso de los humedales es necesario no sólo considerar su potencial de mitigación sino también el de adaptación (Erwin, 2009). En ese sentido los humedales (andinos, turberas, urbanos, entre otros) sirven para gestionar el escurrimiento de agua al ser receptores y almacenadores de aguas lluvia mitigando así el riesgo de inundaciones e influenciado la provisión de agua tanto en cantidad como calidad. Por otra parte, debido al proceso de evapotranspiración también bajan la temperatura del ambiente alrededor de ellos (Sun et al., 2012).

### **CO-BENEFICIOS**

Los humedales proveen servicios ecosistémicos con múltiples co-beneficios. Estos incluyen la protección de la calidad del agua, protección de la zona costera, regulación de humedad del suelo y agua subterránea, regulación de inundaciones, soporte a la biodiversidad, generación de hábitat y secuestro de carbono (Thorslund et al., 2017). Con respecto a los servicios relacionados con los humedales como provisión de agua en cantidad y calidad, es ampliamente reconocido que los humedales aportan el 40% de todos los servicios ecosistémicos identificados, lo que incluye mejoramiento de la calidad del agua, regulación de inundaciones, regulación de la turbiedad del agua al retener sedimento, absorción de carbono y mantención de la biodiversidad (Zedler & Kercher, 2005).

Investigaciones en humedales chilenos han determinado que estos proveen servicios ecosistémicos como provisión de turismo (Nahuelhual et al.,

2013), protección contra catástrofes (Barbosa & Villagra, 2015), provisión de materias primas, por ejemplo, para artesanías, entre otros. También proveen beneficios socio culturales y servicios ecosistémicos culturales, como belleza del paisaje, sentido de pertenencia e identidad, cohesión social, conexión con la naturaleza, oportunidades para la recreación, oportunidades para la educación ambiental y oportunidades para las relaciones sociales. Los humedales costeros son importantes mitigadores del efecto de desastres naturales, como tsunamis y marejadas.

Es evidente que los humedales provisionan servicios claves para la productividad de Chile, por ejemplo, los humedales altoandinos han provisionado históricamente el agua para el desarrollo de la minería del cobre en la zona norte, lo que genera competencia por los recursos hídricos con comunidades locales (Romero et al., 2012). Procesos de retención de agua naturales asociados a humedales en altura o a lo largo de la cuenca pueden retener y modular el régimen de caudal y sedimentos de mejor manera que un embalse (Arriagada et al., 2019), por lo que es necesario conservar y restaurar los que en la actualidad se encuentran degradados.

### **BRECHAS DE CONOCIMIENTO, GOBERNANZA Y TECNOLOGÍA**

A continuación se enumeran algunas brechas de conocimiento, gobernanza y brechas tecnológicas para poder conservar los humedales y de esa manera beneficiarse de los múltiples co-beneficios que éstos proveen.

Falta información base sobre:

- Caracterización del ecosistema (biofísico) de humedales/turberas
- Se desconoce el balance global del carbono en humedales de Chile. Balances (flujos) y stock de carbono-metano
- Falta tener una comprensión clara de los cambios del carbón orgánico en el suelo (COS) de los por tipología humedales y latitud/altitud
- Tasas de cambio de uso de suelo
- Cuantificación del aporte de los humedales a la adaptación al cambio climático y co-beneficios
- Conocimientos, capacidades y experiencias para la restauración de humedales es casi inexistente en Chile
- No se conoce el estado de degradación/conservación de los humedales del país

- Falta una red de monitoreo y protocolos estandarizados para la realización de monitoreos a largo plazo. Hay indicadores que pueden monitorearse por sensoramiento remoto (espejo de agua, clorofila y macrófitas), otras variables requieren seguimiento in situ. por ejemplo, salinidad, nivel del agua, emisiones de gases.
- Falta cuantificación del impacto de la contaminación sobre la estructura y función de humedales en Chile (principalmente nutrientes, pero también contaminantes (residuos) industriales).
- No se cuenta con un catastro nacional de turberas que permita contar con información precisa del área y profundidad que tienen estos ecosistemas a lo largo del país. Existen esfuerzos aislados en Magallanes.
- No se cuentan con programas de monitoreo intensivo de emisiones de gases de efecto invernadero en humedales. Por ejemplo en el caso de las turberas, existen esfuerzos aislados en Navarino y Magallanes.
- Se desconoce el impacto que ha tenido y tendrá el cambio climático y las actividades humanas en el sistema cuenca hidrográfica-turbera en distintas regiones del país.

Dentro de las brechas de gobernanza se identifican:

- No existe ley que proteja los humedales No Urbanos.
- Retraso en la aprobación Ley que crea Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas, con el consiguiente atraso de su implementación descentralizada y coordinada con gobernanza en cambio climático.
- Relación con comunidades o sociedades humanas.
- Falta de integración con otros sistemas a escala de cuenca o paisaje. Ineficiencias y objetivos contrapuestos.
- Gestión territorial a escala de cuenca y planificación territorial de los diversos usos de la tierra.
- Muchos humedales son de propiedad privada, importante generar incentivos para que los propietarios los gestionen como SBN.
- Incluir a las instituciones de gobernanza local en las actividades de conservación de humedales.
- Las modificaciones al Decreto 25 impactaron negativamente sus alcances regulatorios para la protección de las turberas.

Las brechas de tecnología identificadas son:

- Fortalecer el Sistema Nacional de Biodiversidad SIMBIO, como un repositorio de información primaria, y un instrumento para la gestión de la información de la biodiversidad para la toma de decisiones en relación con adaptación y mitigación de cambio climático en ministerios sectoriales.
- A nivel nacional existe una cantidad limitada de infraestructura y equipos para caracterizar los humedales y medir emisiones de gases de efecto invernadero en ellos. Por lo tanto, es necesario desarrollar redes de análisis y monitoreo nacionales que permitan evaluar el balance del carbono en estos ecosistemas.
- Generación de instrumentos multiparamétricos de monitoreo constante de parámetros esenciales (básicos) como pH, oxígeno, conductividad, temperatura y cantidad de agua a bajo costo.
- Existe una cantidad limitada de grupos de investigación especializados en el estudio de los ciclos biogeoquímicos en turberas en Chile.
- Existe una cantidad limitada de trabajos enfocados a la restauración de humedales. Es necesario que se destinen más recursos que potencialicen los esfuerzos de restauración a través de la integración de redes de trabajo que involucren a la academia, instituciones gubernamentales y sectores productivos.

## **INDICADORES, METAS Y HORIZONTE TEMPORAL DE IMPLEMENTACIÓN**

Para avanzar en los humedales como alternativa de SbN, se propone las siguientes metas e indicadores:

<b>Meta</b>	<b>Indicador</b>	<b>Horizonte Temporal</b>
Homologación de metodología inventario	Existe una metodología estándar para la confección del inventario	2023
X N° de comunas ha identificado y delimitado sus humedales	N° de comunas que ha identificado y delimitado sus humedales	2025: 50 comunas 2030: 100 comunas 2035: 200 comunas

		2040: todas las comunas
Cuantificar stock y flujos de GEI de un X% de la superficie de humedales	Superficie de humedales monitoreada	2025: 20% 2030: 50% 2035: 75% 2040: 100%
	Superficie de humedales que está cuantificada	2025: 10% 2030: 30% 2035: 60% 2040: 80%
Mantenimiento de la superficie actual de humedales en el largo plazo (o que no haya disminución en la superficie de humedales respecto a la superficie actual)	Superficie (o tasa de pérdida, ganancia) de humedales/turberas conservadas (Has/año)	2025
Inventariar y priorizar humedales a restaurar	Existe una metodología estándar para la priorización	2023
	Listado priorizado de humedales a restaurar	2025
Restaurar el X% de la superficie de los humedales priorizados para restauración	Superficie de humedales restaurado (Has)	2030: 10% 2035: 30% 2040: 70%
Gestión de humedales como SBN, asegurando que proveen co-beneficios y aportes a la adaptación al cambio climático	Superficie de humedales gestionados como SBN	2030: 10%

Desarrollo de catastro nacional de turberas por cuenca o grupo de cuencas hidrográficas (área y profundidad)	Número de cuencas incluidas en el catastro.	2021: Identificación preliminar de cuencas-turberas. 2022: Inicio de estudios prospectivos y catastro preliminar basado en análisis de imágenes satelitales. 2023: Región de los Lagos 2025: Región de Aysén 2030: Región de Magallanes
Monitoreo de emisiones de gases de efecto invernadero y subsidencia.	Número de cuencas-turberas incluidas en el programa de monitoreo (implementación de red de monitoreo).	2025: Región de los Lagos y Aysén 2030: Región de Magallanes
	Superficie de turberas que es monitoreada	2025: 30% 2030: 70% 2040: 100%

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se estima que el valor global de los servicios ecosistémicos de los humedales es de US\$ 26,4 billones/año aportando más del 20% del valor total de los servicios ecosistémicos a nivel global (Costanza et al., 2014; Thorslund et al., 2017).

## RELACIÓN CON INSTRUMENTOS / POLÍTICAS EXISTENTES / SECTOR ECONÓMICO

- Ley de Humedales Urbanos y su reglamento
- Contribución Nacional Determinada (NDC).

- Plan Nacional de Protección de Humedales
- El uso de humedales construidos como instrumento de evaluación de impacto ambiental.
- Ordenanzas municipales.

Es importante destacar que existen políticas y normativas que tienen impacto negativo sobre humedales, por ejemplo, el Ministerio de Agricultura tiene incentivos para su drenaje, las turberas están incluidas en ley minera, etc. detalles de lo anterior se puede encontrar en Möller & Muñoz-Pedreras, 2014.

### **PRÓXIMOS PASOS / RECOMENDACIONES**

Dadas la cantidad importante de brechas expuestas, se recomiendan las siguientes acciones priorizadas:

1. Definir una metodología estandarizada para mantener y actualizar un inventario nacional de humedales. El inventario se debe actualizar periódicamente (cada 5 años por ejemplo).
2. El inventario nacional se realiza con datos satelitales, que tiene una resolución espacial limitada. Por lo tanto se requiere validar en terreno a nivel comunal lo que realmente son humedales y sus bordes.
3. Algunas de las variables biofísicas de los humedales se pueden medir remotamente. Se recomienda realizar estas mediciones de manera sistemáticamente para los humedales en el inventario nacional y dejar disponible en alguna plataforma tal como el SIMBIO o el Observatorio de Cambio Climático.
4. Para cada tipo de humedales (marismas, bofedales, turberas, etc) se deberían escoger un número pequeño para servir de piloto para medición in-situ de los flujos de carbono y así poder evaluar potencial de mitigación. Adicionalmente se debe medir in situ el nivel del agua para ver si se están secando o no.
5. Ciencia ciudadana: para algunos humedales (urbanos sobre todo) las mediciones in situ se pueden realizar con ayuda de la comunidades aledañas, como colegios o vecinos.

Por último, es importante mencionar que dada la urgente necesidad de abordar la grave sequía que afecta al país desde 2010, la conservación de humedales, protección de cabeceras de cuencas y ambientes de ribera, entre otros, pueden ser la clave para una solución sostenible a 2050 que asegure el caudal ecológico necesario para proveer de agua a la naturaleza y las

personas. Conectar la relación de la conservación del bosque nativo con la provisión de agua para diferentes "usuarios" incluyendo a los humedales, será complejo restaurar humedales si el cambio climático disminuye fuertemente las precipitaciones, por lo tanto la discusión debe ampliarse mucho al re-uso del agua, por ejemplo agua tratada en plantas de tratamiento (ver caso del Humedal de Batuco).

Avanzar en la discusión que existe actualmente en el congreso Nacional respecto a la Ley de Turberas.

Tabla 5 Co-beneficios asociados a los humedales. Resumimos las publicaciones que aportan pruebas de que un determinado tipo de servicio del ecosistema se mejora debido a la implantación de una vía. Las celdas en blanco indican casos en los que no identificamos pruebas claras de servicios de los ecosistemas mejorados. Véase la sección Detalles de los métodos para la definición de cada uno de los cuatro tipos de servicios (biodiversidad, agua, suelo, aire). Fuente: Griscom et al. 2017.

Vía	Biodiversidad (alfa, beta, gama)	Agua (filtración, control de inundaciones)	Suelo (enriquecimiento)	Aire (filtración)
Humedales				
Impactos evitados en los humedales costeros	Mantiene el suministro de la estructura, los nutrientes y la productividad primaria y los viveros de peces y camarones de importancia comercial.	Los humedales costeros tienen un valor económico estimado de 785 a 34.700 dólares en valor de tratamiento de aguas residuales.	Beneficios de la transferencia de nutrientes entre sistemas a los arrecifes de coral, protección costera y regulación de la calidad del agua.	La plantación de árboles ayuda a capturar las partículas del aire y los gases contaminantes.
Impactos evitados en las turberas	"Las turberas boreales contienen insectos distintivos además de generalistas ampliamente distribuidos".	Los humedales y los suelos de los humedales atenúan las inundaciones .	Los humedales y los suelos de los humedales atenúan las inundaciones .	El drenaje y la tala de bosques aumentan el riesgo de incendio de la turba. La exposición a los contaminantes procedentes de los incendios de turba aumenta la necesidad de servicios de salud para tratar los trastornos pulmonares y de los pulmones.
Restauración de humedales costeros	Mantiene el suministro de la estructura, los	Beneficios del control de inundaciones y de	Beneficios de la transferencia de	La plantación de árboles ayuda a

	nutrientes y la productividad primaria y los viveros de peces y camarones comerciales.	la filtración del agua de los manglares y de otros humedales costeros.	nutrientes entre sistemas a los arrecifes de coral, protección costera y regulación de la calidad del agua.	capturar las partículas del aire y los gases contaminantes.
Restauración de turberas	La regeneración de las turberas restablece diversas comunidades.	Tratamiento de aguas residuales y remediación de aguas pluviales.	La restauración de las tierras degradadas a una alta productividad depende de las especies de fauna que ayudan a desarrollar la estructura y la fertilidad del suelo.	La exposición a los contaminantes procedentes de los incendios de turba aumenta la necesidad de servicios de salud para tratar los trastornos pulmonares y de los pulmones. La rehumidificación de las turberas reduce el riesgo de incendio.

### **3.4. Ecosistemas Marinos**

#### **3.4.1. Antecedentes**

Basados en el concepto de SBN, el océano es un mitigador natural de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por cuanto atrapa el calor acumulado en la atmósfera y favorece el secuestro de carbono (carbono azul, ver box 1) en diferentes formas químicas, desde dióxido de carbono a hidrocarburos. Por lo tanto, si velamos por el buen funcionamiento de los ecosistemas marinos, el océano capturará, almacenará y secuestrará en forma óptima una gran cantidad de carbono en diferentes reservorios. Más aún, el océano es el único sistema capaz de enterrar carbono como resultado del funcionamiento a largo plazo de una compleja red de procesos biogeoquímicos y tróficos asociados al ciclo del carbono, quedando este carbono enterrando permanentemente en los sedimentos marinos; estos últimos se constituyen como el mayor reservorio de largo plazo de carbono, tanto orgánico como inorgánico, en el planeta.

Además, consideramos relevante destacar el aporte de los ecosistemas marinos en materia de adaptación, al modular el aumento de temperatura atmosférica en zonas costeras, proveer refugios/hábitat para el aseguramiento de cuotas pesqueras y la producción de bienes y servicios para pescadores artesanales y pequeños empresarios del turismo; y particularmente reducir el riesgos de desastres (marejadas, tsunamis).

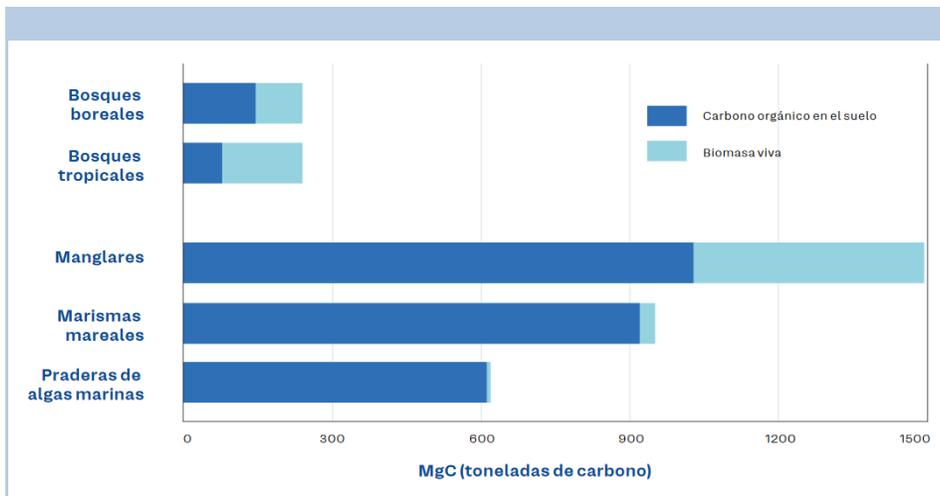
Chile es el décimo país a nivel mundial con más maritorio en el mundo y el primer latinoamericano con mayor superficie de mar. Dada su extensión latitudinal (subtropical a polar) y zonal (costa a islas oceánicas), alberga numerosos ecosistemas marinos; muchos de ellos de gran productividad biológica, lo que se traduce en gran capacidad de capturar, almacenar y finalmente exportar carbono a los sedimentos subyacentes. La ventaja comparativa que tiene Chile respecto a la protección de fondos marinos, como marismas, bosques de algas pardas y otros ecosistemas, es de fundamental importancia a la hora de mitigar el cambio climático, dada la superficie marina bajo su jurisprudencia y la diversidad de ecosistemas marinos que alberga.

Cuando se considera todo el carbono orgánico enterrado en los sedimentos marinos a nivel global y compara con el carbono enterrado estimado en la plataforma continental y la zona económica exclusiva chilena

(ZEE), del suelo marino global, estas superficies entierran hasta 2 y 25 Tg C año<sup>-1</sup>, cantidades sustantivas de carbono considerando que sólo representan el 0,045 y 0,55%, respectivamente (Tabla 7).

De hecho, cuando ecosistemas marinos como pastos marinos, marismas, manglares y bosques de algas pardas, se comparan, en una misma unidad de superficie, con bosques tropicales o caducifolios del hemisferio norte, la magnitud acumulada de carbono en los sedimentos es sustantivamente mayor que aquel acumulado en suelos y los bosques mencionados (Figura 1). Al respecto, se reportan estimaciones de enterramiento de carbono en sedimentos adyacentes a las marismas, manglares, bosques de quepo y pastos marinos; las cuales fluctúan entre 31 a 87 Tg C año<sup>-1</sup>; siendo entre 7 a 21 veces mayores que las tasas de enterramiento de C en bosques tropicales, templados y boreales (Figura 1).

Figura 1. Almacenamiento de carbono en distintos reservorios, biósfera (como bioma-sa) y litósfera (como carbono orgánico en sedimentos), en ecosistemas denominados carbono azul y bosques. Nótese que gran parte del carbono se almacena en suelos/ sedimentos asociados a estos ecosistemas y que supera con creces los almacenados en ecosistemas terrestres. Extraído de Pendleton et al. (2012).



**Cuadro 1: El concepto de carbono azul, el presupuesto de carbono del océano y las oportunidades para Chile**

Blue Carbon o carbono azul es un término acuñado en el 2009 por el programa internacional "The Blue Carbon Initiative". Este programa está enfocado en mitigar el cambio climático a través de la conservación y restauración de los ecosistemas costeros y marinos que naturalmente almacenan (biomasa) y secuestran grandes cantidades de carbono azul. Los manglares, marismas o humedales, bosques de macroalgas y pastos marinos, son sistemas que capturan (fotosíntesis), almacenan (biomasa) y finalmente acumulan y entierran carbono en sedimentos adyacentes. Por ejemplo, más del 95% del carbono almacenado en las praderas de pastos marinos se acumula en los sedimentos (Kennedy et al., 2010).

Cuando están protegidos o restaurados, los hábitats "carbono azul" almacenan y secuestran carbono; pero cuando se degradan o destruyen, estos emiten el carbono que habían almacenado durante siglos al océano (Howard et al., 2017). Estudios estiman que los ecosistemas costeros degradados liberan

anualmente hasta 1,02 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente al 19% de las emisiones de la deforestación tropical en todo el mundo (Pendleton et al., 2012). Resulta fundamental proteger los fondos marinos, sobre todo aquellos que presentan un eficiente proceso de enterramiento de carbono azul. La pérdida de un tercio de la cobertura global de estos ecosistemas implica una pérdida de sumideros de CO<sub>2</sub> y la emisión de 1 Pg de CO<sub>2</sub> al año.

Tabla 7. Enterramiento de carbono orgánico en ecosistemas marinos costeros (sus suelos y sedimentos asociados a marismas, bosques de algas y humedales), respecto al océano global (sedimentos marinos) y el enterramiento llevado a cabo en sedimentos de la ZEE (Elaboración Laura Farías).

Hábitats	Respecto superficie total del océano km <sup>2</sup> * 10 <sup>3</sup>	Tasa de enterramiento de carbonoorgánico Tg año <sup>-1</sup>
Área total océano	361 000; 70 %	780 000
Plataforma continental global	29 000; 8%	290 000
Plataforma continental chilena	160; 0.045 %	**0.08-2.02
ZEE chilena	2009; 0.55 %	**1.0 -25.31
Macroalgas	2000-6800; 1 %-1.5 %	0.5-12
Manglares	137-151; 0.1 %	18.4-23.6
Marismas	40 000; 0.3 %	60.4
Pastos marinos	177-600; 0.1 %-0.2%	27.4
<b>Total carbono azul</b>	<b>6117; 1.69 %</b>	<b>244-404</b>

\*Tg = 10<sup>12</sup> g

Se propone (1) relevar en forma incremental la importancia del océano en las contribuciones nacionalmente determinadas, (2) proponer medidas basadas en océano donde Chile tenga una ventaja comparativa, costo efectiva y que den cumplimiento a mejores normativas y liderar cumplimientos de compromisos internacionales (Farías et al., 2019)

A continuación se exponen tres SBN asociadas a los ecosistemas marinos: protección/conservación y restauración/manejo de bosques de algas pardas; protección de la bomba biológica del carbono y finalmente la protección del fondo marino.

### **3.4.2. Bosques de algas pardas**

Los bosques de macroalgas, también llamados bosques de huiros o quelpos son ecosistemas submareales con una alta densidad de algas pardas gigantes, reconociéndose como uno de los ecosistemas más productivos y dinámicos en la Tierra (Pfister et al., 2018). Las macroalgas son los productores primarios activos y dominantes de las zonas costeras (Duarte et al., 2005) con una producción neta primaria a nivel global que supera los 1.500 TgC por año (Krause-Jensen & Duarte, 2016); está sustentada por la continua y natural provisión de nutrientes desde las corrientes costeras que permiten altas tasas de fotosíntesis y crecimiento. Por esta razón, los bosques de macroalgas son verdaderos captadores de CO<sub>2</sub> y almacenadores de carbono (biomasa), parte de la cual es secuestrada en sedimentos adyacentes como carbono orgánico, lejos del contacto con la atmósfera; a diferencia de bosques terrestres, cuyos suelos acumulan carbono orgánico pero están expuestos a la influencia de la atmósfera y por ende a una oxidación aeróbica inmediata.

Estudios actuales sugieren que las macroalgas podrían secuestrar hasta 173 TgC por año a nivel global, con un rango de 61 a 268 TgC por año (Krause-Jensen & Duarte, 2016), principalmente en sedimentos donde la descomposición anaeróbica de la materia orgánica es incompleta, secuestrando alrededor 20-30% de la biomasa depositada (Pedersen et al. 2021). El resto de la biomasa es reciclada en forma de carbono orgánico disuelto (descomposición y oxidación de biomasa) y entra ser parte de trama trófica bacteriana y fitoplanctónica que finalmente se traspasa a la bomba biológica marina.

*Macrocystis pyrifera*, más conocida comúnmente como huiro, es un alga parda gigante, que forma densos bosques bajo el mar. Estas algas pueden llegar a medir hasta 60-70 metros de largo, y en condiciones óptimas, pueden lograr tasas de crecimiento de cerca 50 cm diarios. En Chile, los bosques de macroalgas se distribuyen desde Arica al Cabo de Hornos, desde la zona intermareal hasta unos 20-50 metros de profundidad, por lo que su impacto

en mitigación es amplio en el océano. Estos bosques marinos también son muy importantes como refugio para otros organismos y además contribuyen a desacelerar la desoxigenación y acidificación de los océanos, y son moduladoras de la energía que llega a la costa y muchos otros co.beneficios. Sin embargo, este ecosistema enfrenta importantes y crecientes amenazas, en gran parte derivadas de la pesca artesanal y la pesca ilegal. Hoy en día, los avances de conservación marina no han estado enfocados en los ecosistemas de bosques de algas. En el océano austral, existen enormes Parques Marinos como Cabo de Hornos (140.000 km<sup>2</sup>) e Islas Diego Ramírez-Paso Drake (144.000 km<sup>2</sup>), sin embargo, estos albergan sólo una pequeña fracción de bosques de macroalgas presentes en Chile. El resto de la zona costera de Chile, donde se distribuye la mayor densidad de bosques de algas, cuenta con menos de un 2% de protección. Obviamente, este porcentaje incluye todos los ecosistemas costeros, de los cuales los bosques son sólo una pequeña fracción, por lo que el nivel de protección de estos valiosos ecosistemas es aún menor.

En general, los hábitats templados a polares donde ocurre *M. pyrifera* se caracterizan por ser ecosistemas dinámicos y con una importante estacionalidad, especialmente en la Patagonia Sur. Los ecosistemas de macroalgas poseen una alta estabilidad, al menos en los últimos 45 años (Friedlander et al., 2020) y posiblemente esta condición se extienda desde los reportes de Darwin (1845), dada la alta capacidad de adaptación local de los bosques de macroalgas australes que le permite resistir al cambio climático (Palacios et al., 2021); escenario que posiciona a la Patagonia chilena como un posible refugio climático para este tipo de macroalgas gigantes

### **Potencial de mitigación**

Si consideramos que las macroalgas son parte activa en la productividad primaria de los océanos (Hepburn et al., 2006, Graham et al., 2007, Reed et al. 2008), es innegable que este aporte debe ser sustentado por grandes cantidades de carbono inorgánico disuelto (CID) tanto autóctono como alóctono que subsidian su fotosíntesis y crecimiento (Fernández et al., 2014). Gran parte del CID presente en los océanos está como HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (91%) y CO<sub>3</sub><sup>-</sup> (8%), CO<sub>2</sub> (1%) (Roleda & Hurd, 2012) y solo el CO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pueden ser utilizados en los procesos fotosintéticos como fuente primaria de carbono (Fernández et al., 2014).

Las algas pardas son las especies con más rápida tasa de crecimiento en el mundo y superan con creces las de las plantas terrestres. Las tasas de crecimiento, en términos de toneladas por hectárea por año superan a las plantaciones de eucaliptos. Por ejemplo, el crecimiento de una alga gigante es más rápido que el bambú, a una tasa de 7-14 cm por día, pudiendo incluso llegar a medio metro al día en condiciones ideales.

Existe una gran brecha de conocimiento global respecto a las reales potencialidades de estas comunidades de macroalgas respecto a la captura y secuestro de carbono atmosférico. En el hemisferio sur sólo existe un gran meta-análisis que estima el secuestro de carbono de comunidades macroalgales formadores de bosques submarinos, los cuales son capaces de secuestrar entre 1.3–2.8 TgC año<sup>-1</sup> (Filbee-Dexter et al. 2020). Entonces, si consideramos que gran parte de los bosques de macroalgas pardas presentes en el hemisferio sur, y en particular al sur de la ecorregión Chilense, nuestro país tiene un lugar privilegiado, y quizás sea una potencia global en el secuestro de carbono. Esto potenciaría a los bosques de macroalgas parda como una real solución basada en la naturales (SbN) frente al cambio climático.

Existen recientes esfuerzos en metodologías para cuantificar la abundancia y cobertura de los bosques de *Macrocystis pyrifera*. Mora et al. (2020) han estimado las superficies globales ocupadas por macroalgas a partir de algoritmos y filtros aplicados a imágenes satelitales. Dichos autores estimaron, que la superficie cubierta de macroalgas gigantes junto con algas verdes en la ecorregión de canales y fiordos patagónicos (provincia Magallánica), es de 4841 km<sup>2</sup>, el doble o triple de área que regiones biogeográficas similares como Pacífico nororiental (costas de Alaska y Oregón) (Mora et al. 2020). Considerando el área cubierta y recientes estimaciones de biomasa o standing stock (Palacios pers. com.), la cantidad de C secuestrado en sedimentos costeros chilenos, representa un mecanismo de mitigación que supera la bosques y plantaciones Terrestres (ver Figura 1)

### **Co-beneficios**

A continuación se listan los principales co-beneficios de mitigación y adaptación ampliamente reportados en la literatura científica

- Captura y almacena cantidades significativas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Amortigua eventos de de-oxigenación, por ciento produce cantidades significativas de oxígeno asociada la fotosíntesis
- Previene acidificación del océano por la captura activa de CO<sub>2</sub> atmosférico, el cual es utilizado en los procesos fotosintético de este tipo de macroalgas
- Provee de efectos paliativos y ayuda a la adaptación frente a eventos climáticos extremos como marejadas y oleaje. Mitigación de la erosión de los ecosistemas costeros, en el hemisferio norte se ha comprobado que los bosques de *Macrocystis pyrifera* son capaces de minimizar el impacto del oleaje en 1/3 (Rosman 2013)
- Genera Hábitat que provee de refugio, alimentación y reproducción para un gran número de especies y biodiversidad
- Reclutamiento larval (soporte físico) incluida especies de importancia
- Belleza escénica
- Provee identidad local y regional al estar presente como elemento y ser parte de la dieta regular de varios pueblos originarios de América del Sur
- Efectos paliativos indirectos sobre la salmonicultura (al asimilar y metabolizar excesos de C y N provenientes de esta industria)
- Biofiltro de metales pesados tanto de origen continental como atmosférico
- Depuración de aguas marinas costeras y submareales someras por metales pesados y compuestos orgánicos; los cuales afectan la salud marina ecosistémica y aumenta la susceptibilidad al cambio climático. Oyarzo-Miranda et al. (2020); Fic-Algas 2016; Contreras et al. 2005; Contreras et al. 2009.
- Disminución de la temperatura por efecto sombra paleando el calentamiento global
- Refugio climático para organismos marinos, en el actual escenario de crisis climática existe evidencia científica en los hemisferios sur (Oceanía) que comprueba la utilización de los ecosistemas de bosques de macroalgas como refugio climático, principalmente en áreas costeras impactadas por la Acidificación de los Océanos (AO) (Ling et al., 2020).
- Promueve el turismo, en zonas de importancia para el turismo de intereses especiales como el avistamiento de ballenas (archipiélago de Humboldt). Adicionalmente son zonas preferidas para las actividades de

buceo, debido a la alta diversidad de especies asociadas que presenta y la generación de espacios con aguas más transparentes.

Se han analizado metas e indicadores separando 1.- conservación y protección y 2.- restauración y manejo de bosques de algas pardas.

## **1. Conservación y protección de bosques de algas pardas**

### **Objetivo**

Conservación de bosque de algas pardas para preservar el stock de carbono y su enterramiento y la biodiversidad como elementos claves para mitigar y adaptar el Cambio Climático

### **Brechas de Conocimiento**

Chile no cuenta con un inventario de bosques de algas por especie de importancia; falta sistematizar y profundizar información sobre densidad, biomasa y cobertura de los bosques de macroalgas con una metodología única y validada. En la misma línea, no existe un escalamiento de biomasa y tasas de producción primaria para estimar secuestro o enterramiento de carbono y con ello un balance de carbono azul para Chile.

Se carece de información por especie de su capacidad de almacenar y enterrar carbono. Por ejemplo, si bien *Macrocystis* presenta una altísima tasa de crecimiento, *Lessonia* tiene mayor densidad en su biomasa, hundiéndose más fácilmente en el fondo del mar. Estas diferencias claramente establecen diferencias en la tasa de enterramiento de C en el fondo marino.

### **Brechas de gobernanza**

Ley General de Pesca y Acuicultura sólo considera al alga como un recurso, regulando en consecuencia su explotación. Así, en su art. 9 bis, se otorga la facultad para que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura establezca planes de manejo aplicables a todo o parte de una región o regiones (como el caso de Tarapacá, R. Ex. N° 3344 de 2013). Dichos planes deben contener los aspectos señalados en el art. 8 del mencionado cuerpo legal, entre los que se consideran los objetivos, metas y plazos para mantener o llevar la pesquería al rendimiento máximo sostenible de los recursos involucrados. Como puede apreciarse, la normativa no introduce elementos para asegurar la

conservación del alga dado su rol frente a la adaptación y mitigación al cambio climático, esto representa una brecha que hay que ir subsanando.

Además, como se mencionan en Farias et al. (2019) y Rehbein et al. (2020), es relevante además contar con una legislación que destaque la importancia de los ecosistemas marinos para la acción climática. En Chile, los avances para la aprobación de la Ley Marco de Cambio Climático y el desarrollo de la "Estrategia Climática de Largo Plazo" sientan precedente para legislar en esta materia. En ambas instancias, es importante incluir el potencial de los océanos para que sean considerados como opciones de soluciones basadas en la naturaleza, movilizándolo a instituciones gubernamentales, gobiernos y comunidades locales para valorar sus aportes. En términos del marco financiero, el precio al carbono es crucial para aumentar los recursos disponibles y fortalecer los marcos normativo y regulatorios de conservación y explotación de algas pardas.

. El país podría aumentar la ambición del precio al carbono e incrementar el monto y el alcance del impuesto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con miras a facilitar el financiamiento de proyectos de mitigación en el océano.

Finalmente, como brecha ampliamente reconocida, se encuentra la falta de monitoreo de ecosistemas de bosques de algas pardas como parte del servicio de Biodiversidad y el observatorio de cambio climático y en particular el SIOOC (sistema integrado de observación del océano chileno).

### **Brechas tecnológicas**

se necesita validar metodologías de sensoramiento remoto con otras como imágenes de alta resolución (drones) o sonares para distintas regiones para correcta evaluación de superficie de bosques de macroalgas

### **Metas**

- Implementar áreas marinas protegidas donde los bosques de macroalgas sean considerados con Objetos de Conservación (OdC) prioritarios, por sus cualidades ecosistémicas

### **Indicadores**

30% de protección de los ecosistemas marinos (superficie efectiva ocupada asociados a bosques de algas pardas), con alguna medida de conservación. Este indicador es una propuesta que se propondrá en la Convención de las Naciones Unidas sobre diversidad, que se celebrará en 2021, y apunta a proteger al menos el 30% del océano para 2030 para lograr tanto la conservación de la biodiversidad como metas de mitigación climática (Salas et al 2021).

Mantener una densidad de algas, considerada ecológicamente óptima para mantener la biodiversidad y la función ecosistémica, y una tendencia (pendiente) positiva o neutra de superficie y densidad de bosques de algas; de modo de asegurar un crecimiento, y captura y almacenamiento de carbono positivo y efectivo.

Mantener parámetros poblacionales y ecosistémicos propios de la ecorregiones y previos a los periodos de explotación (en el caso de bosques explotados); estos parámetros son relación tamaño de disco vs longitud; densidad, madurez de los bosques.

Proteger fauna asociada (7 veces más diversas que en bosques explotados) y prohibir pesca de arrastre en áreas cubiertas por bosques de macroalgas.

**Horizonte de implementación:** 3-5 años basado en potencial de las macroalgas (tasa de crecimiento y longevidad de macroalgas).

### **Recomendaciones**

Dadas las brechas identificadas se recomienda:

Crear un inventario nacional por especie de algas, con metodología estandarizada y que incluya información de densidad y biomasa y otros parámetros ecológicos.

Definir algunas regiones para medir in situ fotosíntesis y estimar captura de carbono.

Crear o buscar internacionalmente una línea de financiamiento asociadas al pago por servicios ecosistémicos asociados a los bosques de algas pardas en su su contribución a la mitigación y adaptación (proyectos de "carbono azul")

## **2. Restauración y manejo de bosques de algas pardas**

La destrucción de bosques de algas avanza a tasas alarmantes y es explicada por la sobreexplotación de carnívoros, la cosecha de algas, y la falta de fiscalización. En el año 2019, el huiro llegó a ocupar el tercer lugar en el podio de los tres recursos con mayor nivel de pesca ilegal en Chile (Sernapesca, 2019). Además, la remoción de peces e invertebrados que habitan los bosques puede generar enormes consecuencias en los ecosistemas de bosques. De hecho, la pesca de carnívoros ha generado importantes cambios en la abundancia de herbívoros, los que ahora ejercen una mayor presión de herbivoría sobre los bosques cambiando el follaje de los mismos.

La cosecha de algas, y la forma de explotación en zonas submareales (hasta aproximadamente 20 m), es una realidad preocupante para las costas de Chile, desconociendo la real magnitud del impacto y sus recientes y futuras consecuencias. Estudios en curso muestran que parches explotados no se recuperan después de 2 años de la cosecha, muy posiblemente por las consecuencias ecológicas de la redistribución de organismos herbívoros asociados a estas macroalgas (Pérez-Matus et al., 2017). En Chile, las especies de macroalgas están bajo una fuerte y creciente presión de explotación, principalmente para la producción de alginato y como fuente de alimento para el Abalón del norte. Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable ya fue realizado en el año 2013 por Buschmann et al.; a la fecha no existen progresos regulatorios o normativos sustantivos.

Otro aspecto a considerar es que a nivel global existe una pérdida acelerada de estos ecosistemas, y en Chile, solo se acentúa en el norte del país, principalmente por deficiente manejo de las pesquerías de macroalgas pardas (Krumhansl et al 2016), esta pérdida de bosques se ha sido dramático en Océánica y Norte América por efecto del alza de las temperatura medias del mar (Filbee-Dexter et al. 2020), panorama que no se está manifestando en el extremo austral de nuestro país, pues *Macrocystis pyrifera* ha logrado generar estrategias fisiológicas de aclimatación muy eficientes (palacios et al 2021), que le han permitido sobrellevar el impacto del cambio climático en los océanos australes y así mantener sus estructura poblacional y su función ecosistémica intacta en los últimos 45 años aproximadamente (Friedlander et al. 2020).

La degradación y pérdida de hábitats naturales debido a las actividades humanas es una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad mundial también asociada al cambio climático. Sin embargo, la urbanización costera como el cambio climático en su totalidad está provocando una

disminución significativa de las algas marinas claves que forman el hábitat marino. Las zonas a repoblar, cultivar y por consiguiente a restaurar deben ser en base a los informes de más de 15 años que se han desarrollado a través de Sernapesca y Subpesca.

**Objetivo:** Asegurar el manejo sustentable de bosques de algas pardas en ecorregiones sujetas a explotación del recurso

### **Brechas de Conocimiento, Gobernanza y Tecnológicos**

Si bien existen estudios sobre el estado actual de cada una de las pesquerías y recomendaciones para cada una de ellas (proyectos FIPA) , se necesitan modelos ecológicos y tróficos (herbivoría) para un mejor manejo de estos .

Relativo a la gobernanza, se necesita revisar y asegurar el principio ecosistémico y precautorios en pesquerías bentónicas (Ley de Pesca y Acuicultura) y aumentar la fiscalización y la extensión de los Comités de manejos de macroalgas parda en gran parte del territorio nacional donde se realice algún tipo de actividad extractiva. Una solución puede ser reforzar co-manejo de los recursos de grandes algas pardas mediante la adopción de planes de manejo de estos recursos en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y el incentivo a la generación de nuevas AMERBs y/o la extensión de las existentes.

Además, falta articulación entre la Armada de Chile y SERNAPESCA en los los procesos de fiscalización y detección de incumplimientos en áreas marinas protegidas; se debe dar mayor empoderamiento y atribuciones (y capacidades complementarias de monitoreo y fiscalización) para los administradores de áreas protegidas. Estas atribuciones significarán un aumento significativo de la efectividad de los proyectos asociados a protección y manejo sustentable de los recursos.

Por último, se necesita definir un reglamento asociado a la Ley de Repoblamiento de Algas (Ley 20.925). publicada en el Diario Oficial el 17 de junio de 2016, teniendo por objeto; aumentar la biomasa disponible de recursos algales de importancia ecológica y económica existentes en el territorio nacional, mediante el establecimiento de un sistema de bonificación el cual permite cambiar la matriz productiva actual del sector alguero de extracción, por medio del cultivo o repoblamiento. En este contexto la ley 20.925 es una herramienta importante para poder evitar la sobreexplotación

y promover la recuperación de las poblaciones naturales de macroalgas marinas, permitiendo así desarrollar diferentes actividades, como cultivo y repoblamiento, no obstante, estas herramientas públicas no han sido bien aprovechadas debido a la falta de tecnologías disponibles, que sean escalables, repetibles e inocuas con el ambiente, lo que ha dificultado la puesta en marcha de programas de repoblamiento o cultivo (Díaz 2019).

Entre las brechas tecnológicas, las tecnologías del repoblamiento de estas especies son insuficientes para ser masificables actualmente en Chile (Díaz 2019). Se necesitan estudios para implementar estudios de cultivos de macroalgas para repoblamientos efectivos. Las algas comercializadas provienen de poblaciones naturales y no se han establecido cultivos masivos de las especies involucradas, existen iniciativas de cultivo pero esto no ha sido escalado lo suficientemente para representar una ventaja costo/efectiva.

Finalmente se necesita desarrollar un plan de financiamiento para proyectos de carbono azul. Proyectos de restauración y protección pueden ser sostenibles para movilizar financiamiento climático. La Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwealth (CSIRO, por sus siglas en inglés) trabaja desde el año 2018 con la Asociación de la Cuenca del Océano Índico (IORA, por sus siglas en inglés) en esta área.

### **Metas**

Implementación por parte de Subpesca, Sernapesca y MMA, sistema de restauración basada en repoblamiento y manejos de especies de importancia ecológica, que sean claves en los procesos de mitigación al cambio climático. Debe incluirse un sistema para cada una de las especies, i.e., Huiro negro (*Lessonia spicata*), Huiro palo (*Lessonia trabeculata*) y Huiro canutillo (*Macrocystis pirifera*)

### **Indicadores**

aumentar el porcentaje de zonas re-pobladas y cultivadas mediante implementación de proyectos de acuicultura; con seguimiento de manejo.

Desacelerar en un 50% la tendencia a pérdida de bosque de algas pardas y establecer vedas temporales para frenar el proceso de "juvenilización" de bosques de algas pardas en distintas provincias biogeográficas de Chile, donde existe una explotación del recurso bentónico.

Restaurar 30% superficie de área degradada en un horizonte de 10 años.

Repoblar con cultivos a gran escala aquellos bosques que han mostrado más de un 40% de pérdida en densidad (sobre una línea base del año 1990 previa al peak de explotación).

### **Horizonte de implementación**

Dada la tasa de crecimiento de las macroalgas y la longevidad el horizonte de implementación debe ser entre 3 a 5 años.

### **Evaluación económica**

Chile es un importante productor de algas pardas que representan el 10% del suministro mundial. La pesquería artesanal de algas pardas en nuestro país, se ha constituido como una importante actividad comercial del sector costero y actualmente por su gran importancia económica y social, sustenta muchas comunidades de recolectores de orilla y buzos.

Los desembarques de algas marinas chilenas fluctuaron entre 40.000 toneladas año<sup>-1</sup> a principios de la década de 1980 y 300.000 toneladas año<sup>-1</sup> al año 2013, año de máximo desembarque (Vasquez et al., 2016). Posterior a esta fecha la tasa de desembarque se ha mantenido (IFOP, 2019).

El reporte más completo del valor económico de las poblaciones de algas silvestres en el norte de Chile (26° a 32° S) fue realizado por Zuniga-Jara et al. (2009) y actualizado por Vasquez et al. (2014). En estos, usando varios indicadores económicos, se evaluaron, además del valor comercial como fuente de materias primas para la extracción de alginato, el valor de un grupo de algas pardas de importancia económica (*Lessonia* spp. y *Macrocystis pyrifera*) en términos de : (1) valor de mercado de la biomasa como fuente de materia prima para la extracción de ácido algínico, (2) valor de mercado de especies asociadas de importancia económica, (3) valor como fuente de información científica, (4) valor como amortiguador climático (captura de CO<sub>2</sub> y liberación de O<sub>2</sub>), (5) valor de la biodiversidad asociada (especies no comerciales), (6) valor como patrimonio cultural y (7) valor como reserva de biodiversidad.

Los resultados indican que los lechos de algas en el norte de Chile tienen un valor total de US\$ 540 millones. De este total, la pesca de algas marinas

representa el 75% y las pesquerías de especies asociadas representan el 15%. En este contexto, el valor económico de los lechos de algas chilenas se asocia principalmente a la industria de extracción de alginato. Por el contrario, el valor de existencia como fuente de información científica o amortiguador ambiental para la captura de CO<sub>2</sub> o la producción de O<sub>2</sub> representa solo el 9% del valor total, lo que representa una importancia relativa muy baja para la sociedad. La valoración económica de los recursos costeros y los ecosistemas marinos es una herramienta complementaria para la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas relacionadas con la conservación y explotación sostenible de los recursos renovables y sus ecosistemas.

### **Relación con instrumentos de política Pública**

Protección de bosques de macroalgas se relaciona con otros instrumentos como la ley de pesca y los comité de manejo.

#### **3.4.3. Protección y reducción de la degradación de la bomba biológica de carbono**

El carbono inorgánico (CO<sub>2</sub>), que es el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera, es capturado por los microorganismos autótrofos (a través de la fotosíntesis), y a través de las tramas tróficas, son consumidos por el krill y otros organismos del zooplancton. Los organismos del zooplancton como el krill austral, producen una gran cantidad de pellets fecales y exuvias (exoesqueletos), que son vehículos que "exportan" carbono orgánico particulado (COP) al fondo del océano en donde es almacenado por los organismos bentónicos (por décadas a centurias) o reciclado por bacterias (Cavanagh et al., 2021), en lo que se ha llamado, la Bomba Biológica de Carbono (BBC). Por lo tanto proteger y evitar la degradación de la BBC, es importante para evitar transformar en un sumidero de CO<sub>2</sub> en fuente de CO<sub>2</sub>. Para la protección de la BBC se deben identificar los denominados refugios climáticos, en especial en la Patagonia Chilena y el océano austral.

Un refugio climático se define como aquellas áreas que, por sus particulares características geoclimáticas y/o una condición poco alterada de sus ecosistemas y/o una menor presión de uso, poseen cierta capacidad de amortiguar los efectos negativos del cambio climático, que se manifiestan con

mayor rigor en otras áreas. Esta condición permite la viabilidad de sus ecosistemas y especies, dentro de ciertos límites. También pueden considerarse refugios, aquellas áreas cuyo patrón climático tendencial, sumado a una menor presión de uso, ofrecen condiciones para albergar especies que están siendo afectadas negativamente por el cambio climático en su actual rango de distribución” (MMA 2017). La identificación de estas áreas debe permitir ser 1) el refugio para las especies ante una diversidad de estresores ambientales, b) mantener o recuperar, según sea el caso, el rol de sumidero de carbono y regulador del clima, como medida fundamental en un escenario de cambio climático.

Roman & McCarthy (2010) mencionan que los grandes cetáceos fertilizan la zona fótica de los océanos alimentándose de presas meso y batipelágicas y defecando heces líquidas en superficie. De esta forma translocan nutrientes que limitan la productividad primaria (como N y Fe) desde las profundidades a aguas superficiales, estimulando una nueva y recurrente producción primaria, con la consiguiente exportación de carbono al océano profundo. La restauración de las poblaciones de ballenas podría aumentar la productividad al hacer disponibles nutrientes limitantes en aquellas áreas consideradas bajas en clorofila incrementando la disponibilidad de Fe y N en la zona fótica de los océanos (Nicol et al.,2010; Doughty et al., 2015). Por su parte, Lutz & Martin (2014) y Lutz et al. (2018) extienden el efecto de los vertebrados sobre la regulación y almacenamiento del carbono atmosférico), argumentando que al menos nueve procesos ecológicos mediados por los vertebrados marinos (escasamente explorados en los modelos tradicionales del ciclo biogeoquímico del carbono) pudiesen tener un rol relevante

La evidencia reciente sugiere que los vertebrados marinos (y las ballenas en particular) pueden desempeñar un papel desproporcionadamente importante en los flujos de carbono marino, cuyas magnitudes podrían rivalizar con aquellas estimaciones de almacenamiento de carbono más tradicionales. Con altas demandas metabólicas y grandes poblaciones, probablemente tuvieron una fuerte influencia en los ecosistemas marinos antes del advenimiento de la caza industrial de ballenas: como consumidores de peces e invertebrados; como presa; como reservorios y vectores de nutrientes, y como fuentes detritales de energía y hábitat en las profundidades del mar (un conjunto de procesos ecológicos denominado carbono de ballenas). Entre éstos, la hipótesis del Bombeo de las Ballenas se basa en que todas las ballenas se sumergen para alimentarse y regresar a la superficie

para respirar. En la superficie, liberan plumas fecales flotantes que son ricas en nutrientes limitantes que el fitoplancton necesita para crecer. Por lo tanto, las ballenas fertilizan recurrentemente la zona fótica durante cada temporada de alimentación. La disminución en el gran número de ballenas debido a la caza en el siglo pasado (estimada en un 90%) probablemente alteró la estructura y la función de los océanos. En algunas especies, la recuperación ya está en marcha, pero la mayoría aún enfrenta desafíos que impiden maximizar su tasa de crecimiento de la población, incluyendo colisiones con barcos, enredos en artes de pesca, ingestión de desechos plásticos y contaminación acústica. Estimaciones recientes indican que, como mínimo, incluso un aumento del 1% en la productividad del fitopláncton gracias a la actividad de las ballenas capturaría cientos de millones de toneladas de CO<sub>2</sub> adicionales al año, lo que equivale a la aparición repentina de 2 mil millones de árboles maduros.

En este sentido la Patagonia Chilena, representa una región donde confluyen criterios para la creación de Refugios climáticos (Castilla et al., 2021), no sólo porque representan sitios donde la bomba biológica es muy activa y conlleva a un alto grado de exportación y secuestro de carbono (Iriarte et al. 2010; Torres et al. 2011). Hucke-Gaete (2011) destaca que el estudio del funcionamiento de estos ecosistemas marinos, que cuentan con una alta abundancia de grandes cetáceos alimentándose en estas aguas. Además, las especies de crustáceos claves de estas áreas de altas latitudes (krill, langostinos) consumen un amplio espectro de partículas que concentran en productos de desecho (ej. pellet fecales) que transportan grandes cantidades de carbono orgánico a zonas profundas del océano, potenciando la bomba biológica de carbono en el período productivo (González et al., 2016) Los actuales factores de estrés en el ecosistema marino están perjudicando a distintas especies, obligándoles a emigrar, adaptarse o bien extinguirse (Henson et al., 2017), alterando el manejo sustentable de distintas actividades como las pesquerías y el turismo

El océano austral es responsable de la captación de una buena parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen antropogénico. Además, es una zona donde se forman masas de agua profundas y se oxigenan las aguas de las cuencas oceánicas (Sallé et al., 2012). El Océano Austral, ofrece un sin número de beneficios y servicios ecosistémicos ligados a la pesca (e.g. krill, bacalao), turismo y obtención de productos de interés biotecnológicos (Grant et al., 2013).

## Potencial de mitigación

Si tenemos aproximadamente entre 250 y 380 Mt de krill antártico, y estamos pescando entre 0.6 a 5.6 Mt a<sup>-1</sup> (lo estimado y lo máximo permitido) en el área 48 de la Península Antártica, el impacto de la pesca está muy por debajo de los límites permitidos. Sin embargo, igual estamos disminuyendo el flujo de pellets de krill entre 2 y 17 mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Cavan et al., 2019). El krill también genera un flujo de carbono en exuvias (caparazones) similar al de pellets, lo que sumados representa una contribución del 87% del flujo de COP anual en la Antártica (Manno et al., 2020).

A pesar de que el mecanismo de la BBC está bien documentado, existen incertidumbres relativas a cómo podría cambiar el flujo de carbono secuestrado a medida que aumenta la temperatura del Océano y aumentan los volúmenes de pesca.

ballenas .....

Comentado [1]: completar

## Brechas de conocimiento, gobernanza o tecnología)

Existe limitada capacidad de observación de largo plazo (series de tiempo). Se requiere instalar una red de observación de la exportación y secuestro de carbono, tanto en el Sistema de la Corriente de Humboldt, Patagonia y Antártica.

En la Antártica, se requiere un programa de monitoreo de variables oceanográficas y atmosféricas que provean series de tiempo no limitadas a muestreos puntuales desarrollados por investigaciones en el marco de proyectos específicos. Un paso para subsanar esta brecha, es el Programa de Gradiente latitudinal, impulsada por el Instituto Antártico Chileno (INACH), organismo técnico dependiente del Ministerio de Relaciones Exteriores. En este programa se instalarán estaciones meteorológicas automáticas (EMA) y otros sensores radiométricos en sitios cercanos a Bases Antárticas, con el fin de generar datos públicos que serán insumos para tomadores de decisión y para el proyecto de "Observatorio de Cambio Climático", liderado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Es necesario el desarrollo de una nueva generación de trampas de sedimento, además del monitoreo del fondo marino, con cámaras, para

estimar el carbono orgánico lábil proveniente de microalgas como diatomeas ("food banks") y flujo de krill hacia zonas de acumulación en la Península Antártica ("hotspots"). También es necesario mejorar las mediciones de almacenamiento de carbono en el fondo marino (bentos) ya que en vastas zonas de Antártica aún no se ha medido el nivel de acumulación de carbono.

Falta de personal especializado en la mantención, calibración de estaciones de monitoreo en sistemas acuáticos.

A la fecha, los modelos para estimar cuantitativamente el rol de los nutrientes derivados de las ballenas en la producción primaria se han basado principalmente en parámetros teóricos y en un número muy limitado de mediciones de campo para probar la sensibilidad del modelo a la incertidumbre actual de los parámetros. Se desconoce el tamaño y tendencia poblacional de ballenas en Chile; Se requieren más estudios dirigidos a cuantificar la captura y secuestro de Carbono en fiordos chilenos. Se necesita SBAP y asegurar financiamiento para AMPs.

### **Horizonte temporal de implementación**

Estos efectos de la BBC como agente mitigador del cambio climático deberían ser analizados en escalas mayores a una década.

### **Co-beneficios**

La BBC es muy importante en la captura, exportación y secuestro de una parte del CO<sub>2</sub> al océano profundo, en donde es incorporado por organismos bentónicos (asociados al fondo), pudiendo ser secuestrado y finalmente enterrado por miles de años.

En el contexto de carbono azul oceánico de las ballenas, la biomasa y capturan carbono y secuestro al morir (*biomass carbon* y *deadfall carbon*) representan valores importantes en el presupuesto de carbono oceánico; mantienen incrementales pesquerías por efecto de bombeo de las ballenas (Whale pump).

Respecto a grandes cetáceos esto representa una oportunidad para el ecoturismo; al igual que la belleza escénica y el valor cultural que representa los fiordos chilenos de Patagonia.

## **Metas**

La efectividad de la BBC como elemento mitigador se podría estudiar en los incrementos de carbono orgánico exportado (como agregados de microalgas, pellet fecales y exoesqueletos de krill, etc.), en estudios de series de tiempo (estimado como incrementos en  $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), de largo período (de años a décadas).

Potenciar el rol de ballenas y fiordos en la captura de carbono.

## **Indicadores**

Tasas de crecimiento poblacional positivas para ballenas en Chile;

Mortalidad antropogénica de ballenas se reduce a cero;

Fiordos de la Patagonia chilena son restaurados y protegidos, minimizando la actividad industrial que se desarrolla en ellos.

Evaluar cuantitativamente la efectividad de AMPs en contexto de cambio climático;

Aumentar en un 30% la representatividad de AMPs en donde se identifican criterios para el establecimiento de refugios climáticos.

## **Relación con instrumentos / políticas existentes / sector económico**

Actualmente existe explotación comercial de krill antártico (con participación de un buque con pabellón chileno), la cual es regulada por una serie de medidas de conservación acordadas por la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA) en donde Chile participa activamente en la Comisión (representado por DIRANTARTICA) y en el Comité Científico (INACH). La protección de organismos asociados a fondos está regulada por medidas de conservación acordadas por la CCRVMA, que prohíben la pesca de fondo y la protección de hábitats bentónicos y ecosistemas marinos vulnerables

### **3.4.4. Protección del fondo marino**

Dado que el enterramiento del carbono que es capturado y secuestrado por distintos ecosistemas marinos (surgencias, fiordos, bosques y marismas) a través de la bomba biológica o hundimiento o enterramiento de biomasa en sedimentos marinos adyacentes a estos ecosistemas, es imprescindible proteger el suelo marino. El proceso de enterramiento, por su magnitud y extensión, tiene un rol fundamental en la mitigación al cambio climático y está asociado directamente a la regulación del clima planetario. Al respecto, existen dos grandes amenazas que pueden poner en riesgo la capacidad del océano para enterrar Carbono, ya que destruyen la estructura vertical de los sedimentos y pueden re-suspender parte del carbono que había sido acumulado y enterrado definitivamente.

- *Pesca de arrastre*. A nivel global se estima que aproximadamente el 1.3% del fondo marino es perturbado por la pesca de arrastre y que esta actividad resulta en aproximadamente 1.47 Gt de emisiones de CO<sub>2</sub> en un año, y es equivalente al 15-20% del CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido por el océanos cada año, y es comparable a las estimaciones de pérdida de carbono en suelos terrestres causadas por la agricultura (Sala et al, 2021). En Chile existen a la fecha algunos proyectos de reforma en el sector pesquero y acuícola en tramitación que incluyen la restricción (boletín 12937-21) y la prohibición (boletín 13019-21 ) de la pesca de arrastre para capturar merluza común.
- *La minería submarina* es una de las mayores amenazas del fondo marino, por cuanto altera la estratigrafía, estructura y su capacidad de secuestrar carbono. Esta es definida como un conjunto de operaciones relativas a la prospección, exploración, explotación y procesamiento de depósitos minerales en los sedimentos o subsuelo del océano, e incluye también el depósito de residuos mineros generados en el continente (relaves) o en el mismo océano. Actualmente, existe un gran interés a nivel internacional por explotar recursos minerales, principalmente metales, en el lecho y el subsuelo de los océanos, debido a la creciente escasez de materia prima en el sistema continental. En términos de explotación de los recursos, esta actividad presenta grandes desafíos tecnológicos, que han sido abordados en la presente década. Por ahora con aparente baja viabilidad o rentabilidad económica en algunos casos, lo cual ha demorado hasta ahora su desarrollo en pleno. En concreto, el desarrollo de la minería submarina en la ZEE de Chile tendría efectos directos sobre el secuestro de CO<sub>2</sub> , especialmente en la zona costera, ya que perturbaciones del fondo marino, producto de dicha actividad,

tenderían a revertir tal secuestro, junto con el potencial de alterar, en forma prolongada y significativa, los ecosistemas marinos y el clima de planeta. En particular, tales efectos se podrían concentrar en las áreas metalogénicas, como: (a) la Dorsal de Chile, zona de atracción para la exploración de depósitos de sulfuros polimetálicos de origen hidrotermal, especialmente en su extremo oriental (Península de Taitao) y (b) las zonas circundantes a las islas de Juan Fernández, San Félix y San Ambrosio y los montes submarinos, que presentan condiciones favorables para la formación de nódulos polimetálicos (Morales, 2014); (c) Magallanes y otras regiones, para la explotación de hidratos de gas metano para uso de combustibles fósiles para el sector energía y que conllevará a un claro conflicto ambiental (Roig Monge, 2014); explotación que estaría fuera de toda estrategia de largo plazo de cambio climático y de la carbono neutralidad planteada para Chile.

En síntesis, proteger a los fondos marinos, implica:

- Conservar los hábitats en las zonas costeras y en la ZEE en general
- Conservar la biodiversidad marina en los fondos en la ZEE.
- Reducir los efectos negativos sobre los recursos marinos (bentónicos) en la ZEE.
- Proteger a la fauna bentónica.
- Evitar resuspensión de sedimento y metales tóxicos absorbidos a esta matriz

## **Recomendaciones**

Proteger ecosistemas marinos es una importante SBN para proteger el rol central que juega el océano de sumidero de CO<sub>2</sub> y tiene co-beneficios para la preservación de la biodiversidad marina y proporciona valiosos recursos alimentarios. Una herramienta efectiva para estos objetivos es declarar áreas marinas protegidas (AMP, Sala et al, 2021). Según informe de Calisto et al (2020) la mayoría de las AMP en Chile están ubicadas en territorio insular; el 91% de la superficie total de áreas marinas protegidas están en el océano abierto, mientras que el 9% corresponde áreas costeras. La región con mayor representación de protección es la V región de Valparaíso. Sin embargo, si contamos solo las AMP costeras, la región con mayor representatividad es la

Región de Aysén, con la protección de aproximadamente 6950 km<sup>2</sup> , de los cuales 6.700 km<sup>2</sup> son la zona marina costera de Caleta Tortel (Área marina costera protegida de múltiples usos, AMCP-MU; Calisto et al., 2020).

Se recomienda ampliar las AMP a otras ecorregiones, ya que debido al gradiente latitudinal de condiciones ambientales frente a las costas de Chile cada región tiene condiciones únicas y, por lo tanto, especies que son exclusivas de cada región (Thiel et al., 2007)

### **Bosques de macroalgas**

Las áreas costeras albergan áreas importantes para la reproducción, el reclutamiento y el crecimiento, y por lo tanto son también altamente productivas y ricas en áreas de captura de peces y recursos bentónicos.

Se recomienda la protección, en mayor porcentaje, de áreas donde las macroalgas son parte importante del ecosistema para la conservación, con beneficios para la pesca.

Se recomienda aumentar la fiscalización y la extensión de los Comités de manejos de macroalgas parda en gran parte del territorio nacional donde se realice algún tipo de actividad extractiva, sobre todo en la macro zona norte, para garantizar una adecuada gestión y seguimiento de la actividad.

Se debe reforzar co-manejo de los recursos de grandes algas pardas mediante la adopción de planes de manejo de estos recursos en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y el incentivo a la generación de nuevas AMERBs y/o la extensión de las existentes.

Definir reglamento asociado a la Ley de Repoblamiento de Algas (Ley 20.925). publicada en el Diario Oficial el 17 de junio de 2016, teniendo por objeto; aumentar la biomasa disponible de recursos algales de importancia ecológica y económica existentes en el territorio nacional, mediante el establecimiento de un sistema de bonificación el cual permite cambiar la matriz productiva actual del sector alguero de extracción, por medio del cultivo o repoblamiento.

### **Bomba biológica de Carbono**

Recomendar el establecimiento del Área Marina Protegida en la Península Antártica y sur del Mar de Scotia (AMP Dominio 1) liderada por los institutos Antárticos Chileno y Argentino, la cual otorga protección a gran parte del área

48, zona donde se concentra la mayor población de krill y el 70% de la pesquería de krill antártico. Además, es donde se han registrado importantes hábitats bentónicos (Delegaciones de Argentina y Chile 2020). Un Área Marina Protegida contribuiría a proteger la Bomba Biológica de Carbono en la zona.

Recomendamos avanzar en la creación de nuevos sistemas de monitoreo con una red de estaciones in-situ para medir variables atmosféricas y oceanográficas.

Se recomienda financiar estudios que consideren la sensibilidad y respuesta del flujo de carbono secuestrado por la BBC, a cambios en la temperatura del océano y los volúmenes de pesca.

Caracterizar e identificar refugios climáticos marinos: Elaborar mapa con potenciales puntos de interés para la ciencia, con especial énfasis en la Patagonia chilena.

Establecer figuras de protección marina (o ampliar existentes) en aquellos sectores identificados con características de refugios climáticos para la biodiversidad marina

Generar líneas de investigación para evaluar los cambios que permitan mantener y fortalecer la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los océanos ante el cambio climático.

Propender a la valoración de la función ecosistémica de los vertebrados marinos (Oceanic Blue Carbon) y su rol ecológico como sumideros de carbono del océano.

Promover un aumento del conocimiento de los co-beneficios que tiene el rol de los vertebrados marinos a través de diversos procesos ecológicos, a nivel de políticas públicas y sus implicancias en la población.

### **Protección del fondo marino**

Se recomienda asegurar la protección del suelo marino de las amenazas de la actividad de minería submarina en la Zona Económica Exclusiva chilena (ZEE); se trataría de una medida precautoria fundada en el principio *in dubio pro natura* en virtud del cual ante la duda de si una acción u omisión pueda o no pueda afectar al ambiente o los recursos naturales, las decisiones que se tomen deben ser en el sentido de protegerlos.

## **3.5. Ciudades**

### **3.5.1. Antecedentes**

Más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas, y en Chile más del 87% vive en ciudades (INE 2018). El rol de las ciudades en el cambio climático ha sido un tema central en las discusiones en la última década, debido a que, son una de las fuentes principales de emisión de carbono, y al mismo tiempo, están altamente expuestas a sus consecuencias.

A nivel global, las ciudades son responsables de entre 30% y 40% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, gran parte de ellas por el uso sostenido de automóviles que genera también otras externalidades como contaminación atmosférica, congestión vehicular, obesidad, expansión del área urbana y exige un amplio uso de los espacios públicos. La gran mayoría de las ciudades han mostrado poca sensibilidad con los ecosistemas en que están insertos al momento de implementar soluciones que exigen infraestructura, por ejemplo, para reducir los riesgos siconaturales y/o para gestionar el drenaje urbano. Tradicionalmente, la inversión pública ha expandido la denominada infraestructura gris (que instala carpetas de hormigón donde antes había ecosistemas naturales), expandiendo las ciudades, y deteriorando irreversiblemente los ecosistemas afectados. Cuando esta urbanización se ha realizado sin una planificación adecuada, ha exacerbado algunos riesgos asociados a este deterioro, por ejemplo construyendo en humedales, en zonas aluvionales, en ribera de ríos, o en zonas con pendientes pronunciadas.

La geografía en que están enclavadas muchas de nuestras ciudades las hace especialmente vulnerables ante estas problemáticas, por ejemplo, el relleno y fragmentación de humedales costeros en ciudades (Rojas et al., 2019). En este contexto, las soluciones basadas en la naturaleza han sido identificadas como posibles alternativas tanto para abordar una variedad de problemas urbanos, como por su potencial para lograr ciudades vibrantes, saludables, resilientes y sostenibles (Dumitru et al. 2020). Entre las ciudades que han integrado SBN en su planificación y que han indicado sus beneficios se encuentran Rotterdam (Holanda), Malmö (Suecia), Londres (Reino Unido), Copenhague (Dinamarca), Barcelona (España), Seúl (Corea del Sur), Vitoria y Gasteiz (España).

Los impactos de las SBN en ciudades se pueden distinguir en impactos medioambientales (por ejemplo, reducción de emisiones) y sociales (potencial de recreación) producto de la mayor inclusión de infraestructura verde. Dentro de los impactos socioambientales, las SBN pueden diseñarse como instrumentos de protección frente a eventos climáticos extremos - olas de calor e inundaciones- y para la conservación del hábitat, con foco en su capacidad y eficacia para mitigar los efectos del cambio climático en la población urbana (Cohen-Shacham et al. 2016). Por otro lado, aunque los efectos de las SBN en las comunidades aparecen como indirectos o secundarios, estos son fundamentales para lograr algunos de los 17 ODS, por ejemplo, en relación con la salud de las personas, equidad, y cohesión social.

Las estrategias asociadas a las SBN deben definirse según cada contexto urbano, ya que su impacto variará dependiendo de diferentes factores, por ejemplo, la densidad urbana, microclima, alturas edificatorias, los sistemas de transporte etc. Asimismo, algunas estrategias tendrán efectos secundarios en la forma en que las ciudades se desarrollan, como cambios en la movilidad o patrones de crecimiento en zonas residenciales.

### **3.5.2. Potencial de mitigación**

Algunas estrategias de SBN para incorporar en el diseño y planificación de las ciudades son:

#### **Corredores verdes**

Las infraestructuras urbanas -principalmente las de transporte- han afectado el equilibrio ecológico y reducido la conectividad de los ecosistemas. Existe un número considerable de autopistas que han fragmentado humedales urbanos, por ejemplo en Concepción (Rocuant -Andalién) y Valdivia (Angachilla). Por el contrario, sin una planificación adecuada, se pierde la oportunidad de identificar ejes de movilidad que podrían contribuir a los ecosistemas urbanos uniendo áreas verdes que de otro modo estarían aisladas.

Implementar corredores verdes permitiría no solo incrementar la cobertura verde en ciudades para la recreación, bienestar psicológico y movilidad activa de sus habitantes (caminata y bicicleta), sino también restaurar ecosistemas recuperando la conectividad ecológica de parches vegetacionales. En este tipo de iniciativas puede incorporarse a cerros islas, humedales urbanos, lagunas urbanas, ríos y riberas, lagos entre otros, permitiendo a los ecosistemas potenciar su capacidad de secuestrar carbono,

así como generar espacios que ayuden a la purificación de aire. Respecto de si estas medidas generarán o no co-beneficios en la reducción de la contaminación local en conjunto con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, dependerá de factores locales como quedó demostrado para China con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la mejora en calidad del aire observadas por efecto de la reducción de movilidad e industrias por pandemia del COVID-19 (Carbon Brief, 2020).

### **(Re)forestación de zonas urbanas**

Diversas investigaciones han documentado los beneficios del arbolado urbano y áreas verdes para reducir los efectos de las islas de calor, sin embargo, su correcta utilización dependerá de las características de cada ciudad (edificaciones, clima, etc). Por ejemplo, Almeida et al. (2018) indica que áreas verdes y parques sobre 250.000 m<sup>2</sup> pueden tener impactos positivos sobre la temperatura urbana, sin embargo, no siempre es posible contar con grandes paños para este uso, menos en ciudades ya consolidadas. En estos casos es posible obtener beneficios mediante parques urbanos de menor escala y repartidos en la ciudad (Bayulken et al. 2021). En relación con los beneficios a una escala menor (microclima), Elmqvist et al. (2015) indican que un aumento del 10% en arbolado urbano en zonas con islas de calor en Manchester (Reino Unido) resultó en una reducción de la temperatura ambiente de 3-4° C en el entorno directo, contribuyendo a la reducir la energía utilizada en aire acondicionado. Por otro lado, un estudio sobre las diferencias de temperatura entre el parque "La Ciudadela" en Barcelona y su entorno adyacente (temperaturas máximas y mínimas dentro y fuera del parque), indica su capacidad de enfriamiento entre 0,9 ° y 5,2 ° C, con una media de 2,7° C dependiendo de la fecha, estación del año y condiciones atmosféricas (Moreno-García 2019).

### **Manejo de aguas**

Los ecosistemas acuáticos son corredores ecológicos en ambientes urbanos y periurbanos que proveen una variedad de servicios ecosistémicos a la ciudad, y por lo tanto deben ser protegidos. Estos ecosistemas incluyen no sólo los cursos y cuerpos de aguas como cauces, humedales, lagunas y lagos, sino también las zonas riparianas y planicies de inundación, las quebradas, el pie de monte y la vegetación que se desarrolla en estos lugares. Estas áreas además contribuyen a contrarrestar los efectos adversos del cambio climático sobre la población (Rojas et al, 2019). A estos ecosistemas se agregan las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) urbanas, las que

permiten replicar el ciclo hidrológico natural, prestando funciones hidrológicas y otros servicios ecosistémicos dentro de la red de drenaje. Un ejemplo de este tipo de soluciones es el High Line de Nueva York, un parque urbano del tipo de una pasarela verde/parque elevada sobre los raíles de una antigua vía ferroviaria. Desde el punto de vista hidrológico, las SBN pueden proveer una o más de las siguientes funciones :

1. Infiltración o capacidad para introducir aguas lluvias en los suelos, lo que permite reducir el número de eventos de escorrentía, junto con los volúmenes y caudales de agua lluvia superficial. Además, mediante una adecuada distribución espacial de las SBN, esta función permite incorporar aguas lluvias al sistema natural antes de que se ensucien con contaminantes depositados en las superficies urbanas. Ejemplos de SBN que incorporan infiltración son los jardines infiltrantes y los pavimentos permeables, los que podrían implementarse en muchas zonas impermeables de las construcciones del Estado.

2. Almacenamiento o la capacidad para detener la escorrentía urbana por tiempos prolongados, lo que permite reducir los caudales máximos de aguas lluvias urbanas, disminuyendo los impactos sobre la infraestructura de drenaje y sobre los ecosistemas acuáticos y su geomorfología, ubicados aguas abajo. Ejemplos de SBN que incorporan almacenamiento son los estanques de retención, los que pueden estar implementados en plazas y parques.

3. Conducción o capacidad para trasladar aguas lluvias con velocidades de escurrimiento bajas producto de un diseño que incorpora secciones naturales y la presencia de vegetación y elementos de paisajismo. Una conducción provista por SBN permite reducir los caudales máximos hacia aguas abajo, con implicaciones similares a las descritas para la función de almacenamiento. Esta práctica permitiría complementar o reemplazar los sistemas de drenaje artificiales subterráneos, los que son caros y poco flexibles en el tiempo, además de recuperación de aguas grises. Ejemplos de SBN que incorporan conducción son los denominados parques fluviales, como el Parque de "La Familia" en Quinta Normal Santiago, zanjas con vegetación en costados de calles y canales urbanos superficiales.

Junto con esto, existe una gran oportunidad de incorporar el tratamiento de aguas grises para reutilizar en el riego de parques y cerros, además de su reutilización en el ámbito domiciliario. Para lograrlo, se requiere que las obras hidráulicas incorporen estrategias verdes y que exista un plan de manejo de agua en las ciudades que considere la separación de aguas grises de aguas

negras. Aún cuando las consideraciones sobre el costo inicial de estas estrategias puede ser una desventaja, programas de educación ambiental, incentivos y demostración de los beneficios en el largo plazo, pueden favorecer la adopción de este plan (incluyendo reducción de costos en el uso de edificios y viviendas).

El Manual de Drenaje Urbano del Ministerio de Obras Públicas incorpora una variedad de SBN que implementan estas tres funciones hidrológicas, con procedimientos de diseño y ejemplos de aplicación. Estas soluciones deben comenzarse a aplicar masivamente en áreas urbanas pilotos que incluyan espacios para su implementación, tales como plazas, parques, estacionamientos y calles. Buenos ubicaciones para la aplicación de estos pilotos son todas aquellas ciudades con alta presencia de ecosistemas acuáticos (cauces, humedales, lagunas y lagos), donde el control de las aguas lluvias permitiría, además de reducir las inundaciones urbanas, controlar la calidad de estos ecosistemas, los que se ven negativamente afectados por el lavado superficial de contaminante o el colapso de sistemas combinados (aguas servidas + aguas lluvias). Una excelente oportunidad para fortalecer la implementación de SBN es la reciente ley de humedales urbanos, la que permitirá incorporar en las inversiones estos espacios y potenciar su capacidad de regulación hidrológica en proyectos urbanos sustentables, mediante el llamado diseño sensible al agua.

### **Restauración de cerros isla urbanos y pie de monte**

Las montañas y cerros son un componente fundamental de la geografía chilena y una formación bastante conspicua son los cerros isla y los pie de monte. Estos cerros corresponden a una elevación local de la superficie terrestre, delimitada en todo su contorno por un cambio de pendiente notorio, siendo vestigios de antiguas montañas ya erosionadas (Lugo, 2011). Los cerros isla urbanos son aquellos que han quedado total o parcialmente inmersos en una ciudad. La restauración y reforestación de estos cerros es una solución basada en la naturaleza aplicable en las ciudades chilenas, que permite multiplicar la capacidad de captura y almacenamiento de carbono, y además genera múltiples otros beneficios sociales y ambientales.

En 12 ciudades chilenas se han contabilizado 69 cerros isla (Picón et al., 2020). Para implementar soluciones basadas en la naturaleza, se debe poner el foco en las ciudades localizadas en la zona centro y sur del país, cuyas

condiciones climáticas hacen factible la restauración y (re)forestación. Desde Santiago al sur, hay 46 cerros isla urbanos, la mayoría de los cuales se encuentra en las áreas metropolitanas de Santiago (24) y Concepción (14). En cuanto a la cobertura del suelo, en Santiago, Rancagua y Talca (sumando 28 cerros) predominan los matorrales, seguido por praderas silvestres y otras coberturas. En Concepción, Temuco-Padre Las Casas, Puerto Montt y Coyhaique (18 cerros) el bosque nativo ocupa alrededor del 40% de la superficie de los cerros, seguido por matorrales y plantaciones forestales (Picón et al., 2020).

La capacidad de captura y almacenamiento de Carbono, depende de la cantidad de árboles que se establezcan en los cerros, y en el más largo plazo se podría sumar la capacidad de captura de los suelos, en la medida en que también se van restaurando mediante la forestación. En el Área Metropolitana de Santiago hay 24 cerros isla urbanos, que suman en total 5.534 hectáreas, de las cuales 1.629 son susceptibles de restauración (Picón et al., 2020). Con una densidad de plantación de 700 árboles por hectárea (más baja que en ecosistemas nativos), se podrían plantar poco más de 1.140.000 árboles. En el Área Metropolitana de Concepción se identificaron 14 cerros que suman 1.547 hectáreas, de las cuales 346 carecen de cobertura arbórea. En esta superficie se podrían plantar 346.000 árboles. En Temuco y Padre Las Casas se pueden restaurar 339 hectáreas de los cerros Ñielol y Conun-Huenu, incorporando 339.000 árboles. En un cálculo realizado para el Cerro Chena, Retamal (2015) concluye que el aumento de la cobertura de bosque nativo, con una densidad de 700 árboles/há, permitiría incrementar en un 86% la actual tasa de captura de material particulado y otros contaminantes, aumentar en un 104% la infiltración de las aguas lluvia y aumentar en un 91% el control de la erosión de las laderas. Respecto del riego necesario para el establecimiento de los árboles, hay evidencia de que es posible contar con agua de riego implementando sistemas más eficientes que los actualmente utilizados en áreas verdes urbanas, en las cuales se riega por sobre las necesidades de las plantas (Reyes-Paecke et al., 2019).

### **Superficies verdes en zonas edificadas (techos verdes, patios y jardines)**

La utilización de techos verdes puede contribuir a la retención de aguas lluvias, reducir el exceso de temperatura, y generar energías renovables. Por ejemplo, según el plan estratégico de Rotterdam, 10.000 m<sup>2</sup> de techos multiuso

pueden generar hasta 1.25 MW de energías renovables y 80.000 m<sup>2</sup> de techos verdes pueden retener hasta 2.000 m<sup>3</sup> de agua (C40 Cities 2017). Por su parte, Heusinger et al. (2018) compararon el uso de techos verdes versus techos convencionales (negros) con diferentes escenarios de riego, dependiendo del clima local y disponibilidad de agua en periodos de calor. El estudio indica que en ciudades con precipitación estival (Beijing, Londres, Ciudad de México y Nueva York) los techos verdes pueden contribuir a una disminución de temperatura, debido al enfriamiento por evaporación.

En Chile, el año 2019 se modificó el artículo 2.6.3 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) para fomentar el desarrollo de techos verdes en los edificios nuevos. La modificación indica que un máximo del 25% de la azotea debe destinarse a construcciones (cubiertas, quinchos, baños, estanques, salas de máquinas, etc.) y el 75% restante a terraza, vegetación, o paneles solares entre otros. Aunque este cambio en la normativa es positivo, al existir grandes diferencias climáticas a lo largo del territorio, las estrategias deberían ajustarse a las condiciones específicas de cada ciudad. Adicionalmente, su diseño requiere una evaluación detallada para maximizar los beneficios térmicos deseados de los techos verdes.

### **3.5.3. Co-beneficios**

Las SbN en ciudades pueden tener beneficios directos en adaptación al cambio climático en áreas urbanizadas y en sustentabilidad. Progresar en comunidades sostenibles es parte del mandato del ODS 11 cuyas metas como: reducir las muertes por desastres y vulnerabilidad, impacto ambiental en ciudades y mejorar el acceso a zonas verdes están directamente relacionadas con el aumento de inversiones en SbN localizadas en ciudades. Estas soluciones pueden lograr beneficios indirectos en la planificación, reconociendo la integración de los espacios naturales en la ciudad, integrando la escala de paisaje en el contexto urbano. Como se señala en Rojas et al (2019) la escala de paisaje es fundamental para comprender la interconexión de los sistemas urbanos y rurales. Estimar adecuadamente sus beneficios exige considerar su impacto en la demanda de bienes y servicios de los sistemas urbanos y su aporte de los ecosistemas naturales o seminaturales.

Una estrategia urbana que incorpore la restauración de los ecosistemas en las ciudades mediante la creación de corredores verdes, la (re)forestación de zonas urbanas, la restauración de los cerros isla y piedemonte, y la

utilización de superficies como techos verdes, patios y jardines, además de contribuir a la biodiversidad, retención de aguas lluvias, reutilización de aguas grises, reducción de las islas de calor, captura y almacenamiento CO<sub>2</sub>, reducción el consumo de energía y disminución de riesgos, contribuye a mejorar la calidad de vida y a la salud pública de los habitantes.

#### **3.5.4. Brechas (de conocimiento, gobernanza o tecnología)**

Implementar SBbN exige cerrar múltiples brechas de conocimiento que permitan un mejor catastro y una implementación que reconozca el contexto geográfico y social en que se podrían emplazar. Dentro de las necesidades que se observan para cerrar estas brechas podemos destacar las siguientes:

- En relación con las brechas de conocimiento, se requiere mayor análisis sobre el desempeño de las plantas nativas versus las plantas exóticas en las ciudades en relación con su capacidad de captura de carbono, su contribución a la biodiversidad, su capacidad de supervivencia en el largo plazo y sus requerimientos hídricos. También se hace necesario caracterizar los cerros islas y zonas periurbanas de las ciudades, determinar su efecto en la biodiversidad y analizar el efecto del cambio climático en las especies a utilizar para la restauración. Este último aspecto será crucial para desarrollar planes que consideren el estrés hídrico y el cambio climático en las zonas a intervenir, debido a que las condiciones serán cambiantes y aquellas especies que se consideraban adecuadas para una ciudad hace 10 años podrían no serlo en unos años más. Otro aspecto que requiere mayor análisis es la contribución de techos, patios y jardines a la biodiversidad de las ciudades y a la captura y retención de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, se requieren más estudios que evalúen la reducción de islas de calor a través de intervenciones combinadas, incluyendo superficies verdes, ya que las islas de calor dependen fuertemente tanto de factores geográficos locales como de las características de los edificios y el entorno construido.
- Desde la gobernanza, se requieren programas de educación ambiental para que la ciudadanía asuma responsabilidad y participe en las estrategias aquí planteadas, como la reutilización de aguas grises, la transformación de techos a superficies verdes, la utilización de medios no motorizados para el transporte, la elección de especies nativas sobre las exóticas, entre otros. Además, se necesitarán incentivos para realizar las modificaciones: inversión para separar las aguas grises de

aguas negras, o intervenir edificios existentes para instalar techos verdes. Por otro lado, se requiere hacer una mejor caracterización de algunos aspectos: incluir las ciudades como entes contaminantes de los cuerpos receptores de agua, mayor claridad en los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) sobre los cerros (que ahora se indican como cerros, áreas verdes, zonas mixtas o zonas de interés silvoagropecuario). Otro aspecto importante será el involucramiento de las municipalidades en estos planes, debido a que las metas requerirán de que ellas puedan definir su capacidad para aumentar sus coberturas verdes, promover los techos verdes, y participar en la plantación de especies nativas (árboles y arbustos), entre otros.

- Finalmente, desde la tecnología, se necesita mayor conocimiento sobre la incorporación de materiales permeables que puedan utilizarse en ciclovías que permitan absorción de aguas lluvias y disminuir las superficies asfaltadas. Para la separación de aguas grises de aguas negras en edificios existentes, se requiere más investigación y desarrollo tecnológico para realizar los cambios sin necesidad de transformar toda la edificación, motivo por el cual se hace más difícil incorporar esta estrategia. También se requiere de sistemas que permitan incorporar estructuras resistentes con mayor capacidad de carga para incorporar vegetación en los techos.

### **3.5.5. Indicadores y metas propuestas**

Aunque las iniciativas planteadas para las ciudades pueden formar parte de una estrategia conjunta, es posible distinguir algunas metas individuales para lograr sus potenciales de mitigación.

Para integrar los corredores verdes a las ciudades, se propone aumentar los kilómetros dispuestos para la movilidad no motorizada (bicicleta y caminata) incorporando un mínimo de cobertura vegetal, incluyendo bandejones y otros elementos de separación. La provisión de área verde por habitante (10 m<sup>2</sup>) y accesibilidad (máx 15 min caminando) puede impactar en cambios en el uso de transporte, en consecuencia, afectando al sistema urbano completo. Por su parte, la forestación o reforestación de zonas urbanas deberá considerar una proporción mínima de 50% de especies nativas para aumentar la biodiversidad, debido a que actualmente existe una proporción cercana al 80% de especies exóticas. Esta proporción es relevante debido a la

tensión existente entre la capacidad de supervivencia de las especies exóticas en el largo plazo, y a la necesidad de riego al no ser adecuadas para el clima local. Otro aspecto a considerar es la reutilización de aguas grises para el riego en estos corredores verdes y para las estrategias de reforestación, lo cual se relaciona directamente con las metas del manejo de aguas en ciudades.

El manejo de aguas es una solución que requiere cambios importantes en las obras de infraestructura hidráulica para prestar funciones hidrológicas y otros servicios ecosistémicos dentro de la red de drenaje. En este sentido, las metas apuntan a acciones que afectan al espacio público, y otras directamente a los espacios privados. Todos los diseños de nuevos espacios públicos deberán integrar aguas soterradas para mejorar la infiltración y recarga de napas. Además se debe incrementar la superficie urbana destinada a gestionar la escorrentía superficial a través de humedales o parques inundables, entre otras acciones. Por otro lado, todos los edificios nuevos deberán separar las aguas grises de las aguas negras, con el objetivo de incorporar tratamiento de aguas grises para el riego de parques, y a una escala menor, para reutilización dentro del ámbito domiciliario.

Para la restauración de cerros isla y piedemonte será fundamental la declaración de cerros islas como áreas protegidas. Esta medida requerirá clarificar su función en los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) debido a que son identificados de distinta forma, lo que afecta directamente su protección. El objetivo de restaurar y reforestar los cerros islas se deberá medir según el porcentaje de superficie intervenido, el porcentaje de cobertura vegetal natural y el número de cerros identificados como área protegida. Asimismo, esta solución podrá beneficiarse del plan de manejos de aguas, al incorporar un porcentaje de agua reutilizada como sistema de riego para reforestación y restauración.

Finalmente, las medidas de utilización de superficies urbanas como patios, jardines y techos verdes requerirá del compromiso ciudadano, debido a que implica intervenciones sobre los bienes públicos y privados en las ciudades. Siguiendo el artículo 2.6.3 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) se define como meta que todos los edificios nuevos cuenten con un 75% de superficie de techo verde, considerando la zona climática para incorporar vegetación adecuada al clima local. Asimismo, se propone aumentar a un 50% la cobertura verde en edificaciones públicas,

aunque este indicador deberá revisarse según metas específicas por municipio, debido a las distintas realidades existentes.

### **3.5.6. Horizonte temporal de implementación de metas**

Se plantean 3 etapas: 5, 10 y 15 años. Una primera etapa a 5 años para recopilar información y definir los planes y estrategias a implementar: plan maestro de corredores verdes y reforestación de zonas urbanas; plan de manejo de aguas en ciudades con estrategia verde; plan de restauración de cerros isla urbanos y pie de monte; y estrategia para promover el uso de superficies verdes en ciudades. En una siguiente etapa proyectada a 10 años (en que algunas acciones podrían iniciarse antes del año 5) , se plantea lograr al menos un 50% de cumplimiento de las metas propuestas, y una tercera etapa proyectada a 15 años para lograr el 100% de las metas. Este horizonte de cumplimiento requerirá no sólo del compromiso de organismos públicos, sino también de la ciudadanía, debido a que un importante número de las metas propuestas requieren de cambios en el estilo de vida de los habitantes y educación ambiental.

### **3.5.7. Evaluación económica**

Las medidas propuestas para las ciudades requieren de incentivos por una parte, pero también de la difusión de sus beneficios para la población. Por ejemplo, la separación de aguas grises y captación de aguas lluvia desde los techos para su reutilización en riego tiene bajo costo y pueden reducir el costo mensual de gastos domiciliarios. Asimismo, la instalación de techos verdes puede disminuir los gastos en energía, al contribuir a un mejor control térmico interior. La disminución de temperatura en islas de calor, también puede disminuir el uso de sistemas de ventilación al interior de las edificaciones. La transformación a sistemas de reutilización de aguas grises y aumento de superficie de techos verdes, podrían tener incentivos mediante rebaja en contribuciones u otros beneficios.

### **3.5.8. Relación con instrumentos / políticas existentes / sector económico**

La nueva política de parques urbanos de Chile puede ser una oportunidad para incluir el desarrollo de corredores ecológicos y la inclusión de vegetación

urbana en ciudades, siguiendo la lógica, por ejemplo, del reciente Plan Verde y de la Biodiversidad de Barcelona en España. La construcción de parques propiciada por esta política, no solo debe reducir la brecha en acceso a las áreas verdes, sino que debe avanzar a conectar parches naturales en las ciudades y propiciar la biodiversidad urbana. También son una oportunidad para generar sistemas de transporte público más limpios, como la implementación de ejes de transporte público no contaminante, acompañados de corredores verdes. La inclusión de vegetación en estos corredores permite también reducir el ruido urbano, una de las afecciones más molestas de la vida en ciudades.

En estas intervenciones es importante la aplicación del Manual de Drenaje Urbano del Ministerio de Obras Públicas en proyectos hidráulicos en ciudades de regiones, así como financiar proyectos para la recolección de aguas lluvias. Un buen ejemplo es el reciente proyecto por 193 millones de pesos para habilitar un sector inundable en el centro de la ciudad de Valdivia que a futuro puede proyectarse como un parque inundable.

### **3.5.9. Próximos pasos / recomendaciones**

Para implementar las soluciones planteadas aquí, además de cubrir los vacíos de conocimiento indicados anteriormente, se deberá: generar un Plan maestro de corredores verdes que incorpore movilidad activa (caminata y bicicleta) y aumento de cobertura verde en las ciudades chilenas; definir una estrategia de manejo de aguas en zonas urbanas para controlar la calidad de estos ecosistemas (aguas servidas + aguas lluvias) a escala urbana y a escala domiciliaria; desarrollar un Plan de restauración de Cerros Isla Urbanos y Pie de Monte; y definir una estrategia que promueva el uso de superficies verdes en ciudades, de acuerdo a las características de cada comuna.

Es crucial que en la adopción de Soluciones Basadas en la Naturaleza se potencie simultáneamente la resiliencia de las sociedades y la de los ecosistemas, de forma transversal entre sectores y a distintas escalas de manejo, priorizando las soluciones locales. Estas medidas deben desarrollarse en los territorios en conjunto con las comunidades locales y pueblos indígenas, de manera de respetar sus derechos y asegurar la justa distribución de costos y beneficios en la protección del medio ambiente. Las SBN pueden transformarse en un instrumento que aumente el orgullo y sentido de pertenencia de las comunidades locales a los territorios que habitan.

### 3.6. Criósfera Andina

#### 3.6.1. Antecedentes

Los ecosistemas de la **criósfera andina**, usualmente ubicados como cabeza de cuenca en Chile norte-centro, y tanto cabeza como término de cuenca en la Patagonia, presentan una tremenda variabilidad latitudinal en su cobertura glaciar y nival. Estos sistemas son de gran importancia por los servicios ecosistémicos que nos proveen y tienen un rol clave en la gestión y manejo hídrico. Es de amplio conocimiento que los glaciares son muy vulnerables al cambio climático y su protección es fundamental desde la perspectiva de las SbN.

En las cuencas donde los glaciares ocupan parte de sus cabeceras, el régimen hídrico es en gran medida determinado por el derretimiento de la nieve y hielo, lo que tiene un fuerte impacto en los ecosistemas existentes “aguas abajo” del dominio glacial y en las numerosas actividades antrópicas que usan y gestionan dichas aguas.

#### 3.6.2. Potencial de mitigación

Mantener y proteger la capacidad de reflexión o albedo de los glaciares y la nieve andina. La reflexión de la radiación por la criósfera, es clave en el balance energético del planeta. Las superficies nevadas pueden reflejar a la atmósfera mucha de la radiación (>80%) incidente (al contrario del océano que refleja ~10% y absorbe ~90% de la radiación solar incidente). Esta capacidad disminuye cuando el hielo y/o nieve está parcialmente o totalmente cubierto por hollín (“*black carbon*”, BC) y/o por otro tipo de partículas. En la criósfera andina se han reportado significativas concentraciones de BC (Rowe et al., 2019). Muestras de nieve cordillerana han revelado enriquecimiento antropogénico significativo en sitios cercanos a Santiago y en el desierto de Atacama (Alfonso et al., 2019). Análisis de retro-trayectoria han permitido ligar la actividad minera a los altos factores de enriquecimiento para Cobre y Molibdeno presentes en zonas nevadas en el centro y norte de Chile (Alfonso et al., 2019). El polvo también juega un rol relevante en el oscurecimiento de la nieve, especialmente en el desierto de Atacama. Por ejemplo, en el glaciar Tapado (cuenca alta del río Elqui en la región de Coquimbo), las fuentes de

contaminación son polvo transportado por el viento, que incluye sectores mineros (38%), sulfatos naturales erosionados (27%), nitratos antropogénicos (25%) y aerosoles costeros (10%) (Barraza et al., 2021).

### **3.6.3. Co-beneficios**

La protección de glaciares y la cobertura nival presenta co-beneficios debido a su contribución hídrica para actividades productivas, el abastecimiento de agua y otros servicios ecosistémicos. Los glaciares no sólo contribuyen con agua dulce, sino que también con nutrientes esenciales para la productividad de aquellos sistemas terrestres, lacustres y marinos inter-conectados, además de ser fundamentales en la mantención de la biodiversidad y los ciclos biogeoquímicos asociados.

La protección del permafrost también presenta co-beneficios. El permafrost definido como el suelo congelado por períodos de más de dos años, contiene altas concentraciones de carbono orgánico (que podrían, a nivel global, duplicar las concentraciones de carbono atmosférico en caso de derretirse), lo que lo posiciona como un elemento vulnerable que puede retroalimentar el cambio climático. El retroceso de glaciares y las actividades antrópicas tienen el riesgo de dejar expuesto este permafrost, el que, por actividad microbiana, podría liberar gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) a la atmósfera (ver The buried Carbon Bomb; <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-021-00659-y/d41586-021-00659-y.pdf>).

### **3.6.4. Brechas de conocimiento, gobernanza o tecnología**

Se requieren más datos de terreno y estudios detallados para un mejor entendimiento del efecto de aquellos elementos que contribuyen a oscurecer la nieve y el hielo, disminuyendo su albedo. Esto permitiría atribuirles a diferentes factores (antrópicos o naturales) la disminución observada del albedo, e implementar modelos predictivos del impacto del material particulado (MP) sobre glaciares. Además del hollín y el polvo, estudios recientes (Khan et al., 2021), indican que floraciones de microalgas de nieve verdes y rojas también pueden disminuir el albedo de la nieve en 40 y 20%, respectivamente, en relación a la nieve sin microalgas.

Se requiere una red permanente de mediciones de la deposición de MP con financiamiento estatal que asegure su funcionamiento en el largo plazo. Esta red es necesaria para poder detectar, hacer seguimiento y atribuir a posibles fuentes, el MP que se deposita en la nieve y los glaciares. Este MP puede originarse en incendios, uso de combustibles fósiles, leña, actividades productivas (como minería), tráfico sobre caminos sin pavimento, etc. El transporte de MP desde ciudades hacia la cordillera ha demostrado ser una fuente significativa de hollín afectando la nieve en la zona central (Gramsch et al., 2020) y el centro-sur de Chile (Rowe et al., 2019).

Si bien existe un inventario nacional de glaciares, este debe actualizarse y ampliarse, por lo que persisten numerosas brechas de conocimiento glaciológico, en especial porque existen muy pocos glaciares con programas sistemáticos de monitoreo (hay muy pocas series de datos de largo plazo). Falta también el personal especializado necesario para el diseño, construcción, instalación, mantención, calibración y en definitiva la operación exitosa de estaciones de monitoreo en ambientes criosféricos.

Se requiere un sistema de monitoreo de la cobertura de nieve. Estudios recientes han demostrado que la cobertura (y la persistencia) promedio de nieve está disminuyendo en porcentajes cercanos al 10% por década (Cordero et al., 2019; Saavedra et al., 2018). Sin embargo, actualmente, no se realiza un monitoreo sistemático de la cobertura de nieve, lo que condiciona esfuerzos para atribuir la caída en la cobertura a los factores que parecen estar contribuyendo: baja en precipitaciones, alza de temperatura y deposición de MP.

La creación del Observatorio para el Cambio Climático (MCTCI-OCC) y el desarrollo de tecnología satelital (FACH-UCHILE) podrían ser un avance importante en la observación de los cambios que están experimentando los glaciares y la cobertura de nieve en Chile.

### **3.6.5. Relación con instrumentos / políticas existentes / sector económico**

Regular la emisión de fuentes de hollín y polvo para minimizar su efecto en la disminución del albedo de los glaciares y la nieve andina.

La información existente indica que existen significativos niveles de hollín y polvo en gran parte de la criósfera andina chilena. Las concentraciones más

altas se han detectado en la zona central que concentra la población y el sector industrial. En esta zona las concentraciones de hollín detectadas en la nieve pueden causar la reducción en el albedo nivo-glacial de hasta 2% (Rowe et al., 2019).

Es muy precario el nivel de información y estudios sobre la relevancia del permafrost en la criósfera y sus sistemas asociados, por ejemplo, humedales. Se requiere más información y evidencia científica sobre el significado, magnitud y características del permafrost y de las áreas periglaciares para avanzar en forma efectiva en su protección.

### **3.6.6. Próximos pasos / recomendaciones**

Impedir toda intervención directa en glaciares y minimizar posibles impactos indirectos de actividades humanas en glaciares, es importante para proteger su rol en la provisión de varios servicios ecosistémicos, incluido el suministro de agua.

Recomendamos regular actividades que contribuyan a generar MP (incluido el polvo) que al depositarse sobre la nieve o el hielo pueden contribuir a acelerar su derretimiento. Controlar la emisión de MP contribuirá a moderar la reducción del albedo evitando además retro-alimentar el derretimiento de la nieve y hielo, asegurando una provisión más estable de agua dulce a la población y las actividades productivas.

Recomendamos potenciar los sistemas de monitoreo, por ejemplo, el sistema de monitoreo glacial, así como el sistema de alerta de riesgos hidro-geológicos de origen glaciar. Estos riesgos se están incrementando en la medida que se acelera el actual proceso de desglaciación. Los países que poseen extensos ambientes criosféricos son vulnerables a las avalanchas, vaciamientos repentinos de lagos proglaciares (GLOF por su sigla en inglés; Wilson et al., 2018), avalanchas de hielo, inundaciones, inestabilidad de laderas, etc. Estos desastres se están haciendo más frecuentes en el marco del cambio climático.

Recomendamos avanzar en la creación de nuevos sistemas de monitoreo. Se requiere una red de estaciones in-situ para monitorear la deposición de MP (incluido polvo) sobre superficies de nieve y/o hielo. Se

requiere además un sistema de monitoreo de la cobertura de nieve que combine productos satelitales con estaciones de validación en superficie. Finalmente, recomendamos financiar estudios para determinar la cantidad y características del permafrost y de las áreas periglaciares en el país.

#### **4. Relación con instrumentos de política pública**

En los seis ámbitos de SBN que se cubren en este informe se identifican instrumentos de política pública específica con las que se deberían vincular las SBN. Dos instrumentos son particularmente relevantes, las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) y la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) ya que son los dos instrumentos del acuerdo de París que por lo tanto vinculan las medidas nacionales con nuestros compromisos internacionales. Además éstos son los instrumentos centrales de la gestión del cambio climático en la Ley Marco de Cambio Climático, actualmente en discusión en el el Congreso.

##### **Contribución Nacionalmente Determinada**

Las SBN aparecen explícitamente en la **Contribución Nacionalmente Determinada** (NDC, 2020), como uno de los seis criterios del pilar social de transición justa y desarrollo sostenible que aplica a toda la NDC. Además se vuelve a mencionar en la componente de integración, donde se incluyen enfoques que mitigación y adaptación al mismo tiempo. Dentro de este componente SBN se mencionan para las acciones relacionadas con el sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). El sector UTCUTS es un sumidero de CO2 neto en el país y por lo tanto fundamental para lograr el objetivo de carbono neutralidad. Incluir este sector en el pilar de integración asegura que las medidas que se implementen para mantener o incrementar la capacidad de sumidero deba aportar al mismo tiempo a la adaptación como a los objetivos de desarrollo sostenible más globalmente. Como vemos del levantamiento realizado en este informe existe un amplio espacio para ampliar propuestas de SBN en las próximas actualizaciones de la NDC.

##### **Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)**

Dentro del proceso de elaboración de la ECLP hubo una mesa que discutió el rol de las funciones ecosistémicas y las SBN en la visión de largo plazo de la acción climática. Como resultado de ese ejercicio, los conceptos claves asociados a estos conceptos fueron: economías locales, cosmovisión indígena, manejo integrado de territorios, conservación y protección de la biodiversidad, protección del recurso hídrico y economía circular, entre otros. Se nota por lo tanto que SBN permite no solamente integrar mitigación, adaptación y ODS, sino también permite vincular estos ámbitos con el territorio. El mismo documento presenta algunas ideas para materializar los conceptos asociados con SBN, la mayoría de ellas relacionadas con la planificación territorial. El rol de la ECLP en el ámbito de mitigación es definir los presupuestos sectoriales de gases de efecto invernadero, metas e indicadores de adaptación, como lineamientos para la que tanto en mitigación y adaptación se consideren soluciones basadas en la naturaleza. De las posibilidades de soluciones recogidas en este informe se pueden desprender lineamientos generales como acciones para abordar las brechas identificadas y medidas e indicadores cuando estos fueron identificados.

## **5. Brechas**

Del levantamiento de información en los seis ámbitos abordados en este informe queda claro que existen una importante cantidad de brechas, tanto en conocimiento, gobernanza como brechas tecnológicas específicas a cada ámbito. Estas brechas se deben subsanar para poder contar con metas e indicadores específicos para SBN.

Es necesario implementar un gran programa nacional para medir y monitorear el ciclo del carbono en nuestro país, que permita caracterizar los ecosistemas terrestres, marinos y humedales. Se requiere generar información estandarizada sobre los bosques y los suelos a nivel nacional. Hoy en día existen solo dos torres que permiten medir flujos de carbono en bosques (Eddy Covariance). Con esta información se pueden establecer las líneas bases necesarias para posteriormente fijar metas.

Aspectos relevantes por detallar son por ejemplo la superficie de bosque nativo del país, indicadores de salud de ecosistemas, o cuáles ecosistemas están más degradados para poder priorizar restauración.

## **6. Recomendaciones**

- a) Para incorporar SBN en los estudios de impacto ambiental, se podría modificar el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para que los titulares de proyectos privilegien o favorezcan SBN cuando deban comprometer medidas de compensación en los estudios de impacto ambiental (artículo 13, Ley 19300).
- b) De acuerdo con las directrices del IPCC de 2006, sólo se consideran en los inventarios de GEI los bosques gestionados que han permanecido en mismo tipo de uso de la tierra por al menos 20 años. Estos bosques corresponden a aquellos que son manejados bajo la figura de planes de manejo que considera la ley de bosques y aquellos bosques nativos dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). A este respecto, y tal como se enfatizó en el reporte de biodiversidad para la COP25 (Marquet et al. 2019), es importante revisar la Ley de Bosques para para incrementar los incentivos al manejo y restauración de bosques nativos y generar mayores superficies que entren en la contabilidad. Por otro lado, también es importante realizar una labor estratégica de conservación que permita aumentar la actual red de Áreas Protegidas para proteger aquellos ecosistemas que aún están sub-representados en el SNASPE y con especial consideración al cambio climático (Fuentes et al. 2019, Hannah et al 2020) y dotarlos a cada uno con un plan de manejo efectivo que considere el cambio climático y la protección de los stocks de carbono que poseen tanto sobre como bajo el suelo. Los co-beneficios para la biodiversidad, el suelo, el ciclo hidrológico y la calidad del aire son de gran magnitud, así como los beneficios sociales y de calidad de vida asociados.
- c) Es de suma importancia atacar el problema de uso de leña sobre todo en la zona centro sur de Chile donde este es de gran magnitud. Esto requiere, por un lado la implementación de mecanismos eficientes de fiscalización así como subsidios y cambios tecnológicos. Griscom et al. (2017) señalan que el 49% de las emisiones que provienen de leña se podrían mitigar si se subsidiarían mejores cocinas y estufas a leña. Lo anterior debe ir asociado a un programa de mejoramiento en el aislamiento energético de las viviendas. Reducir el uso de leña no sólo tiene un impacto positivo en la biodiversidad y en la captura de carbono en los bosques, sino que además enormes beneficios sociales y en la

salud de las personas. La contaminación que surge de la combustión de la madera tiene una mayor toxicidad ya que la distribución del tamaño de las partículas del humo de la madera es más fina que la de la mayoría de las fuentes dando origen a PM2.5. Por ejemplo, en la temporada de invierno de Temuco, la concentración de PM 2.5 representa el 80-90% del total de las partículas del ambiente, mientras que en Santiago es sólo del 30-60% (Schiappacasse et al., 2013, Schueftan & González, 2015).

- d) Es importante considerar metas y objetivos de reducción de emisiones provenientes de incendios forestales e implementar acciones integrales que involucren capacitación y educación además del financiamiento de tecnología de monitoreo, prevención y mitigación de incendios forestales.
- e) Es importante incluir dentro de los inventarios de emisiones del país las emisiones y capturas asociadas a ecosistemas de humedales. Estos actualmente no se contabilizan, sólo se consideran las transformaciones de humedales a otro uso de la tierra.
- f) Una propuesta de SBN en el marco del Cambio Climático debería incluir una visión ecosistémica integrada (cuenca), en un contexto de ciclos naturales como los del agua y carbono y que considere las diferentes realidades de Chile (González et al., 2021, en prep.). Se recomienda que estas acciones puedan responder a desafíos medioambientales (conservación, protección y uso sustentable de los ecosistemas), económicos (ser viables) y sociales (bienestar humano). Además, sus fundamentos deberían estar basados en (i) procesos de gobernanza inclusivos (desde instituciones como universidades a agrupaciones humanas, como pueblos originarios), (ii) transparentes (decisiones y datos públicos) y (iii) empoderados (con apoyo en legal y jurídico). Además, su gestión debe ser adaptativa, pudiendo ser revisada en base a la evidencia científica (UICN, 2020).
- g) La incorporación del océano en las SBN se traduce en una posibilidad concreta para el país de avanzar hacia un desarrollo más sustentable, que se verá reflejado en las localidades costeras que utilizan los recursos naturales marinos, pero también a nivel global, donde al mejorar su

comportamiento ambiental. Relativo a las recomendaciones del conjunto de soluciones basadas en la naturaleza propuestas en Farias et al., (2019) se pondera.

- h) Considerar los sumideros oceánicos en el presupuesto de carbono de Chile. En la actualidad, no existen métodos aceptados por el IPCC para para cuantificar los sumideros de carbono oceánicos, como los ecosistemas costeros con vegetación (carbono azul). No obstante, Martin et al. (2016) realizan un inventario de los países que incluyen medidas NDC basadas en carbono azul, sean estas medidas de mitigación y/o adaptación (Anexo 1). Al respecto hay países que lo están proponiendo como Costa Rica (<https://es.slideshare.net/CIFOR/inclusin-del-carbono-azul-en-ndcs-costa-rica>) y México.
- i) Inventariar ecosistemas carbono azul, y estimar la magnitud de los reservorios de carbono y las tasas de entierro de carbono, respectivas. Además, de realizar una evaluación exhaustiva del estado de protección y restauración de estos reservorios de carbono.
- j) Valorizar y darles valor económico a todos los servicios ecosistémicos asociados a los ecosistemas carbono azul; procedimiento ya realizado y guiado por otros países y con antecedentes técnicos y ambientales (ejemplo Murray et al., 2011).
- k) Incorporar servicios ecosistémicos asociados a marismas o bosques de macroalgas, en las Estrategias de Reducción de Riesgos Costeros dado todos sus co-beneficios.
- l) Priorizar la protección ante la restauración. Los ecosistemas costeros son una reserva clave de carbono tanto para el corto plazo, en la biomasa viva, como a largo plazo en el sedimento (enterramiento); entonces es imperativo proteger las fuentes de carbono si queremos maximizar el entierro de carbono orgánico. Otra razón, para proteger los ecosistemas carbono azul, es porque no solo la restauración de los hábitats costeros marinos es de 100 a 400 veces más costosa que la restauración de hábitats terrestres, sino además porque la investigación sugiere que la restauración de hábitats costeros ha tenido solo éxito limitado (Bayraktarov et al., 2016).

- m) Fortalecer, de manera sustantiva, la normativa o leyes para que se valore y proteja al océano y sus ecosistemas valiosos desde el punto de vista climático (como fondos marinos, humedales costeros, bosques de algas, etc.), esto debido al fortalecimiento de su labor tanto en adaptación como en mitigación al cambio climático; incluyendo como piso mínimo a nivel constitucional el principio de desarrollo sustentable (pilar social, ambiental y económico) y el principio precautorio.
- n) Proponer planes de manejo apoyados en la observación in situ para todos los usos de recursos sujetos a explotación.
- o) Gestionar financiamiento de acciones climáticas canalizada por el gobierno con ayuda participativa de ONG especializadas y otros organismos de la sociedad civil. Debe existir integración de acción climática a través del gobierno en presupuestos y planificación para la inversión, el aprovechamiento de la proximidad de la NDC y la necesidad de dar cumplimiento a ODS, ambas buenas oportunidades para la planificación, protección y restauración de ecosistemas degradados o explotados. Al respecto, el carbono azul tiene un alto potencial para ser financiado desde diferentes flancos, ya que impacta en diferentes cadenas productivas y ambientales para los países.

## 7. Referencias

- Abbas, F., Hammad, NbS. M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, NbS., Ehsan, S., Bakhat, NbS. F. (2017). Agroforestry: a sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11177–11191. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8687->
- Aitken, D., Rivera, D., Godoy-Faúndez, A., Holzapfel, E. (2016). Water scarcity and the impact of the mining and agricultural sectors in Chile. *Sustainability*, 8(2), 128.
- Alfonso, J. A., Cordero, R. R., Rowe, P. M., Neshyba, S., Casassa, G., Carrasco, J., MacDonell, S., Lambert, F., Pizarro, J., Fernandoy, F., Feron, S., Damiani, A. Llanillo, P., Sepúlveda, E., Jorquera, J., García, B., Carrera, J., Oyola,

P., Kang, C. M. (2019). Elemental and Mineralogical Composition of the Western Andean Snow (18° S–41° S). *Scientific reports*, 9(1), 1-13.

Almeida, C. M. V. B., Mariano, M. V., Agostinho, F., Liu, G. Y., Giannetti, B. F. (2018). Exploring the potential of urban park size for the provision of ecosystem services to urban centres: A case study in São Paulo, Brazil. *Building and Environment*, 144: 450-458.

Arriagada, L., Rojas, O., Arumí, J. L., Munizaga, J., Rojas, C., Farias, L., Vega, C. (2019). A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors: A case study in mediterranean Chile. *Science of the Total Environment*, 651, 1517–1533.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.237>

Astorga, L., Burschel, H. (Eds.). (2019). Chile necesita un nuevo modelo forestal: Ante los desafíos climáticos, sociales y ambientales. LOM Ediciones, Santiago, Chile.

Bannister, J. R., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J. F., Acevedo, M., Fuentes-Ramirez, A., Donoso, P. J., Smith-Ramírez, C. (2018). Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology*, 26(6): 1039-1044.

Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M., Enrich-Prast, A. (2011). Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*, 331(6013), 50. <https://doi.org/10.1126/science.1196808>

Barbosa, O., Villagra, P. (2015). Socio-Ecological Studies in Urban and Rural Ecosystems in Chile. 297–311. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12133-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12133-8_19)

Barraza F., F. Lambert, S. MacDonell, K. Sinclair, F. Fernadoy, H. Jorquera (2021). Major atmospheric particulate matter sources for glaciers in Coquimbo Region, Chile. *Environm. Sci Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12933-7>.

Bayulken, B., Huisingh, D., Fisher, P. M. (2020). How are Nature Based Solutions Helping in the Greening of Cities in the Context of Crises such as Climate Change and Pandemics? A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*, 288: 125569. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125569.

Bayraktarov, E., et al. (2016). The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications* 26, 1055-1074

Becerra-Rodas, C., Little, C., Lara, A., Sandoval, J., Osorio, S., & Nimptsch, J. (2019). The Role of Streamside Native Forests on Dissolved Organic Matter in Forested and Agricultural Watersheds in Northwestern Patagonia. *Forests*, 10(7): 595.

Bernal, B., Mitsch, W. J. (2013). Carbon sequestration in freshwater wetlands in Costa Rica and Botswana. *Biogeochemistry*, 115(1-3): 77-93. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9819-8>

Buschmann, A.H., Stead, R.A., Hernández-González, M.C., Pereda, S.V., Pareses, J.E. Maldonado, M.A. (2013). Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Rev. chil. hist. nat.* vol.86 no.3 doi.org/10.4067/S0716-078X2013000300003.

Carvajal, M.A., Alaniz, A.J. (2019) Incendios forestales en Chile central en el siglo XXI: impacto en los remanentes de vegetación nativa según categorización de amenaza y recuperación de cobertura. En: Biodiversidad y Conservación de los Bosques Costeros de Chile. Smith-Ramírez C, Squeo F (Eds), Editorial Universidad de Los Lagos. 487-504.

C40 Cities. (2017). Case Study. Cities100: Rotterdam - Mitigation Meets Adaptation on Rotterdam's Rooftops. C40 Cities Climate Leadership Group.

Calisto, J., Muñoz, V., Astete, C. (2020). Oceans, climate change and Chile's NDCs. Salinas F (Ed.). Analysis of Chile's Nationally Determined Contribution (NDC) and Proposals from the Civil Society for Climate Action (pp. 94-104). Santiago, Chile.

Carbon Brief, (2020). Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter> (accessed 1.3.21)

Castilla J.C., J. J. Armesto y M. J. Martínez-Harms (Eds.). (2021). *Conservación en la Patagonia chilena: evaluación del conocimiento, oportunidades y desafíos*, Santiago, Chile: Ed. Universidad Católica de Chile (en prensa).

Cavan, E. L., Belcher, A., Atkinson, A., Hill, S. L., Kawaguchi, S., McCormack, S., Boyd, P. W. (2019). The importance of Antarctic krill in biogeochemical cycles. *Nature communications*, 10(1): 1-13.

Cavanagh, R. D., Melbourne-Thomas, J., Grant, S. M., Barnes, D. K., Hughes, K. A., Halfter, S., Hill, S. L. (2021). Future risk for Southern Ocean ecosystem services under climate change. *Frontiers in Marine Science*, 7:615214. doi: 10.3389/fmars.2020.615214

CBD (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation*.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S. (Eds). (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN International Union for Conservation of Nature. doi:10.2305/IUCN.CH.2016.13.en.

Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98: 20-29.

CONAF (2017). Superficie de usos de suelo regional. Santiago, Chile.

CONAF/CONAMA, (2006). Monitoreo y actualización: Catastro de uso del suelo y vegetación, Región de Magallanes y Antártica Chilena. Santiago, Chile.

Contreras, L., Medina, M. H., Andrade, S., Oppliger, V., & Correa, J. A. (2007). Effects of copper on early developmental stages of *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyceae). *Environmental Pollution*, 145(1), 75-83.

Contreras, L., Moenne, A., Correa, J. A. (2005). Antioxidant responses in *Scytosiphon lomentaria* (phaeophyceae) inhabiting copper-enriched coastal environments 1. *Journal of phycology*, 41(6): 1184-1195.

Cordero, R. R., Asencio, V., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P. J., Sepulveda, E., Casassa, G. (2019). Dry-Season Snow cover Losses in the Andes (18–40 S) driven by changes in Large-Scale climate Modes. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

Correa, J. A., Lagos, N. A., Medina, M. H., Castilla, J. C., Cerda, M., Ramírez, M., Martínez, E., Faugeron, S., Andrade, S., Pinto, R., Contreras, L. (2006). Experimental transplants of the large kelp *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in high-energy wave exposed rocky intertidal habitats of northern Chile: experimental, restoration and management applications. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 335(1), 13-18.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1): 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>

Darwin, C. (1845), *The Voyage of the Beagle: Journal of Researches into the Natural History and Geology of the Countries Visited During the Voyage of HMS Beagle Round the World: Under the Command of Capt. Fitz Roy, R.N.* . 1845, GB.

Delegaciones de Argentina y Chile. (2020). Revised proposal for a conservation measure establishing a Marine Protected Area in Domain 1 (Western Antarctic Peninsula and South Scotia Arc). (CCAMLR 39-06 Rev 1). CCAMLR 39. Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources.

De Klein, J. J. M., & Van der Werf, A. K. (2014). Balancing carbon sequestration and GHG emissions in a constructed wetland. *Ecological Engineering*, 66, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.060>

Dinsa, T. T., & Gameda, D. O. (2019). The Role of Wetlands for Climate Change Mitigation and Biodiversity Conservation. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(7), 1297. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i7.16>

DIPRES. (2013). Evaluación de Programas Gubernamentales: Informe Final. Programa Ley del Bosque Nativo. Ministerio de Agricultura / Corporación Nacional Forestal (CONAF). 171 p.

Doughty, C. E., Roman, J., Faurby, S., Wolf, A., Haque, A., Bakker, E. S., ... & Svenning, J. C. (2016). Global nutrient transport in a world of giants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(4): 868-873.

Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3(11): 961-968.

Duarte, C. M., Dennison, W. C., Orth, R. J., & Carruthers, T. J. (2008). The charisma of coastal ecosystems: addressing the imbalance. *Estuaries and coasts*, 31(2): 233-238.

Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2(1): 1-8.

Dumitru, A., Frantzeskaki, N., & Collier, M. (2020). Identifying principles for the design of robust impact evaluation frameworks for nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy*, 112: 107-116.

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., De Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 101-108.

Erb, K. NbS., Luyssaert, S., Meyfroidt, P., Pongratz, J., Don, A., Kloster, S., Kuemmerle, T., Fetzl, T., Fuchs, R., Herold, M., Haberl, NbS., Jones, C. D., Marín-Spiotta, E., McCallum, I., Robertson, E., Seufert, V., Fritz, S., Valade, A., Wiltshire, A., & Dolman, A. J. (2017). Land management: data availability and process understanding for global change studies. *Global Change Biology*, 23(2), 512–533. <https://doi.org/10.1111/gcb.13443>

Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: The role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 17(1), 71–84. <https://doi.org/10.1007/s11273-008-9119-1>

European Commission, and Directorate-General for Research and Innovation. (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities': (full version)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Evers, S., Yule, C.M., Padfield, R., O'Reilly, P., Varkkey, H., (2017). Keep wetlands wet: the myth of sustainable development of tropical peatlands - implications for policies and management. *Glob. Chang. Biol.* 23, 534–549. <https://doi.org/10.1111/gcb.13422>

Fariás, L., Ubilla K., C. Aguirre, L. Bedriñana, R. Cienfuegos, V. Delgado, C. Fernández, M. Fernández, A. Gaxiola, H. González, R. Hucke-Gaete, P. Marquet, Vivian Montecino, C. Morales, D. Narváez, M. Osses, B. Peceño, E. Quiroga, L. Ramajo, H. Sepúlveda, D. Soto, E. Vargas, F. Viddi, J. Valencia. (2019). Nueve medidas basadas en el océano para las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional de Chile. Comité científico COP25, mesa Océanos, 93 páginas.

Fargione, J. E., Bassett, S., Boucher, T., Bridgham, S. D., Conant, R. T., Cook-Patton, S. C., ... & Griscom, B. W. (2018). Natural climate solutions for the United States. *Science Advances*, 4(11), eaat1869.

Fernández, P. A., Hurd, C. L., & Roleda, M. Y. (2014). Bicarbonate uptake via an anion exchange protein is the main mechanism of inorganic carbon acquisition by the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae) under variable pH. *Journal of phycology*, 50(6): 998-1008.

FIC ALGAS : videos youtube e informe FIC enviado al GORE V Región.

Filbee-Dexter, K., Wernberg, T., Grace, S. P., Thormar, J., Fredriksen, S., Narvaez, C. N., ... Norderhaug, K. M. (2020). Marine heatwaves and the collapse of marginal North Atlantic kelp forests. *Scientific Reports*, 10(1). doi:10.1038/s41598-020-70273-x

Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. A., Cape, J. N., Reis, S., Sheppard, L. J., Jenkins, A., Grizzetti, B., Galloway, J. N., Vitousek, P., Leach, A., Bouwman, A. F., Butterbach-Bahl, K., Dentener, F., Stevenson, D., Amann, M., & Voss, M. (2013). The global nitrogen cycle in the Twentyfirst century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621).

Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M. J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, K., Van Wyk, E., Ordóñez, C., Oke, C., & Pintér, L. (2019). Nature-based solutions for urban climate change adaptation:

Linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making. *BioScience*, 69(6), 455–466. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz042>

Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Bell, T. W., Caselle, J. E., Campagna, C., Goodell, W., . . . Sala, E. (2020). Kelp forests at the end of the earth: 45 years later. *PloS one*, 15(3), e0229259.

Fuentes-Castillo, T., Scherson, R. A., Marquet, P. A., Fajardo, J., Corcoran, D., Román, M. J., & Plischoff, P. (2019). Modelling the current and future biodiversity distribution in the Chilean Mediterranean hotspot. The role of protected areas network in a warmer future. *Diversity and Distributions*, 25(12), 1897-1909.

Gallant, K., Withey, P., Risk, D., van Kooten, G. C., & Spafford, L. (2020). Measurement and economic valuation of carbon sequestration in Nova Scotian wetlands. *Ecological Economics*, 171(January). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106619>

González H. E., M. Graeve, G. Kattner, N. Silva, L. Castro, J.L. Iriarte, L. Osmán, G. Daneri y C. Vargas. (2016). Carbon flow through the pelagic food web in southern Chilean Patagonia: relevance of *Euphausia vallentini* as key species. *Marine Ecology Progress Series* 557: 91-110. Doi: 10.3354/meps11826.

González H. E. et al. (2021) Visión integrada de datos, Información y Monitoreo. Comité Científico para el Cambio Climático, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (en preparación).

González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R., J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I . (2020). Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.

Gonzalez, P. (2019). Consumo y mercado de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Graham, M. H., Vasquez, J. A., Buschmann, A. H. (2007). Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanography and Marine Biology*, 45 :39–88.

Gramsch, E., A. Muñoz, J. Langner, L. Morales, C. Soto, P. Pérez & M. A. Rubio (2020). Black carbon transport between Santiago de Chile and glaciers in the Andes Mountains. *Atmos. Environ.* 232, 117546  
doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117546

Grant S. M., S. L. Hill, P.N. Trathan & E. J. Murphy (2013). Ecosystem services of the Southern Ocean: trade-offs in decision-making. *Antarct. Sci.* 25: 603–617. doi:10.1017/S0954102013000308.

Griscom, B. W., J. Adams, P. W. Ellis, R. A. Houghton, G. Lomax, D. A. Miteva, W. H. Schlesinger, D. Shoch, et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 11645–11650.  
doi:10.1073/pnas.1710465114.

Gutiérrez, A., Varela, D., Zúñiga, A., Paredes, J., Villarroel, A., Ruiz, A., Muñoz, V., Martínez, C., Oroz, L. Naiman. H. (2016). Desarrollo de tecnologías de cultivo y repoblamiento de *Durvillaea antarctica*, "cochayuyo": Implicancias para la diversificación de la acuicultura y manejo de poblaciones naturales. VD primer semestre.  
doi:10.13140/RG.2.1.3440.3445

Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Marquet, P. A., Enquist, B. J., Midgley, G., Foden, W., ... & Boyle, B. (2020). 30% land conservation and climate action reduces tropical extinction risk by more than 50%. *Ecography*.  
<https://doi.org/10.1111/ecog.05166>

Henson, SA, Beaulieu, C., Ilyina, T. John, J., Long, M., Séférian, R., Tjiputra, J. & Sarmiento, JL. (2017). Rapid emergence of climate change in environmental drivers of marine ecosystems. *Nature Communication* 8: 14682. DOI: 10.1038/ncomms14682

Heusinger, J., Sailor, D. J., Weber, S. (2018). Modeling the reduction of urban excess heat by green roofs with respect to different irrigation scenarios.

Building and Environment 131: 174–183.  
doi:10.1016/j.buildenv.2018.01.003.

Henderson, B., Gerber, P., Hilinski, T., Falcucci, A., Ojima, D., Salvatore, M., Conant, R. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207, 91–100.

Hernández-Morcillo, M., Burgess, P., Mirck, J., Pantera, A., & Plieninger, T. (2018). Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. *Environmental Science and Policy*, 80(October 2017), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.013>

Hirsh, H. K., Nickols, K. J., Takeshita, Y., Traiger, S. B., Mucciarone, D. A., Monismith, S., & Dunbar, R. B. (2020). Drivers of Biogeochemical Variability in a Central California Kelp Forest: Implications for Local Amelioration of Ocean Acidification. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(11), e2020JC016320.

Hoyos-Santillan, J., Mansilla, C.A., (2021). Dinámica del carbono en turberas de la Patagonia chilena, in: Domínguez, E. (Ed.), *Funciones y Servicios Ecosistémicos de Las Turberas de Sphagnum En La Región de Aysén*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile, p. na.

Hoyos-Santillan, J., Miranda, A., Lara, A., Rojas, M., Sepulveda-Jauregui, A., (2019). Protecting Patagonian peatlands in Chile. *Science* 366, 1207–1208. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9244>

Howard, J., et al. (2017). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Front. Ecol. Environ.* 15, 42–50 doi:10.1002/fee.1451

Hucke-Gaete, R. (2011). Whales might also be an important component in Patagonian fjord ecosystems: comment to Iriarte et al. *Ambio*, 40(1), 104–105. DOI: 10.1007/s13280-010-0110-8

Hepburn, C. D., Hurd, C. L., & Frew, R. D. (2006). Colony structure and seasonal differences in light and nitrogen modify the impact of sessile epifauna on the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (L.) C Agardh. *Hydrobiologia*, 560(1), 373–384.

IFOP (2019). Programa de Seguimiento Pesquerías Bajo Régimen de Áreas de Manejo, 2018. (Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile, 2019).

INE. (2018). Síntesis de resultados Censo 2017. Instituto Nacional de Estadísticas.

Ingrao, C., Failla, S., & Arcidiacono, C. (2020). A comprehensive review of environmental and operational issues of constructed wetland systems. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 13, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.007>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415416.

TESES (2020) Identificación de superficies potenciales de bosque nativo para el incremento de secuestro de carbono. Núcleo TESES, Centro de Estudios Ambientales Universidad Austral de Chile, 2020.

INGEI (2018). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile 1990-2016. Ministerio del Medio Ambiente.

IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (<https://www.ipbes.net/news/ipbes-global-assessment-summary-policymakers-pdf>).

IPCC (2019). Annex I: Glossary [van Diemen, R. (ed.)]. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

IPCC (2019b) Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].

Iriarte, J.L., Gonzalez HE. & Nahuelhual, L. (2010). Patagonian Fjord Ecosystems in Southern Chile as a Highly Vulnerable Region: Problems and Needs. *Ambio*, 39: 463–466.

Jackson, R. B., Lajtha, K., Crow, S. E., Hugelius, G., Kramer, M. G., & Piñeiro, G. (2017). The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(August), 419–445. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>

Jones, J., Almeida, A., Cisneros, F., Iroumé, A., Jobbágy, E., Lara, A., Lima, W.D.P., Little, C., Llerena, C., Silveira, L. and Villegas, J.C. (2017). Forests and water in South America. *Hydrological Processes*, 31(5), pp.972-980.

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C.M., Fourqurean, J.W., Holmer, M., Marbà, N., Middelburg, J.J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles* 24 GB4026, doi:10.1029/2010GB003848.

Khan A., H. Dierssen, T. Scambos, J. Höfer & R. Cordero (2021). Spectral characterization, radiative forcing and pigment content of coastal Antarctic snow algae: approaches to spectrally discriminate red and green communities and their impact on snowmelt. *The Cryosphere* 15: 133-148. doi.org/10.5194/tc-15-133-2021.

Korhola, A., Tolonen, K., Turunen, J., Jungner, H., (1995). Estimating long-term carbon accumulation rates in boreal peatlands by radiocarbon dating. *Radiocarbon* 37, 575–584. <https://doi.org/10.1017/S0033822200031064>

Krause-Jense D., Duarte, C.M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*. DOI:10.1038/NGEO2790

Krumhansl, K. A., Okamoto, D. K., Rassweiler, A., Novak, M., Bolton, J. J., Cavanaugh, K. C., Byrnes, J. E. (2016). Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13785-13790.

Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 815–830. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>

Lara, A., A. Altamirano, A. Alaniz, C. Álvarez, M. Castillo, M. Galleguillos, A. Grez, Á. Gutiérrez, J. Hoyos-Santillán, D. Manushevich, R. M. Garay, A. Miranda, E. Ostría, F. Peña-Cortéz, J. Pérez-Quezada, A. Sepúlveda, J. Simonetti y C. Smith (2019). Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática». En P. A. Marquet et al. (editores), *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad*. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Lehmann, J. (2009). Biological carbon sequestration must and can be a win-win approach. *Climatic Change*, 97(3-4), 459.

León-Lobos, P., Bustamante-Sánchez, M., Nelson, C.R., Alarcón, D., Hasbún, R., Way, M., Pritchard, N.S., & Armesto, J. (2020) Lack of adequate seed supply is a major bottleneck for effective ecosystem restoration in Chile: Friendly amendment to Bannister et al. (2018). *Restoration Ecology*, 28(2), 277-281. <https://doi.org/10.1111/rec.13113>

Ling SD, Cornwall CE, Tilbrook B, Hurd CL (2020) Remnant kelp bed refugia and future phase-shifts under ocean acidification. *PLoS ONE* 15(10): e0239136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239136>

Lorenz, K and Lal, R. (2018). *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems*. Springer Science + Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5>

Lugo Hubp, José. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: México DF. ISBN: 970-32-2965-4

<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/32/32/95-1>

Lutz, S.J., Pearson, H., Vatter, J. Bhakta, D. (2018). Oceanic Blue Carbon. Arendal: GRID-Arendal.

Lutz, S.J., Martin, AH. (2014). Fish Carbon: Exploring Marine Vertebrate Carbon Services. GRID-Arendal, Arendal, Norway.

Maltby, E., Acreman, M., Blackwell, M. S. A., Everard, M., Morris, J. (2013). The challenges and implications of linking wetland science to policy in agricultural landscapes - experience from the UK National Ecosystem Assessment. *Ecological Engineering*, 56, 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.086>

Mancilla Villalobos, R., Zúñiga, J., Salgado, E., Schiappacasse, M. C., Chamy Maggi, R. (2013). Constructed wetlands for domestic wastewater treatment in a Mediterranean climate region in Chile. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(4). <https://doi.org/10.2225/vol16-issue4-fulltext-5>

Manno C., S. Fielding, G. Stowasser, E. Murphy, S. Thorpe, Tarling, . (2020). Continuous moulting by Antarctic krill drivers major pulses of carbon export in the north Scotia Sea, Southern Ocean. *Nature Comm.* 11:6051, [doi.org/10.1038/s41467-020-19956-7](https://doi.org/10.1038/s41467-020-19956-7)

Manuschevich, D., Beier, C. M. (2016). Simulating land use changes under alternative policy scenarios for conservation of native forests in south-central Chile. *Land Use Policy*, 51, 350-362.

Marquet, P. A., Hodges, K., Jackson, J.B.C. Naeem, S. (2019). Navigating the great transformation in biodiversity and climate. *Science Advances*. 5, 11, eaba0969, DOI: 10.1126/sciadv.aba0969

Marquet, P.A., A. Altamirano, M.T.K. Arroyo, M. Fernández, S. Gelcich, K. Górski, E. Habit, A. Lara, A. Maass, A. Pauchard, P. Plischoff, H. Samaniego, C. Smith-Ramírez (editores) (2019). Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Marquet, P.A., E. Arellano, R. Arriagada, M. Fernández, A. Gaxiola, C. León, F. Meza, R. Larraín, P. Pliscoff, S. Reyes, J. Vargas (2021) Diseño estratégico de proyecto de evaluación de soluciones basadas en la naturaleza para Chile. TNC, CCG, Santiago, Chile.

Martin, A., Landis, E., Bryson, C., Lynaugh, S., Mongeau, A., & Lutz, S. (2016). Blue Carbon - Nationally Determined Contributions Inventory. Appendix to: Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Published by GRID-Arendal, Norway

Melton, J. R., Wania, R., Hodson, E. L., Poulter, B., Ringeval, B., Spahni, R., Bohn, T., Avis, C. A., Beerling, D. J., Chen, G., Eliseev, A. V., Denisov, S. N., Hopcroft, P. O., Lettenmaier, D. P., Riley, W. J., Singarayer, J. S., Subin, Z. M., Tian, H., Zürcher, S., Kaplan, J. O. (2013). Present state of global wetland extent and wetland methane modelling: Conclusions from a model inter-comparison project (WETCHIMP). *Biogeosciences*, 10(2), 753–788. <https://doi.org/10.5194/bg-10-753-2013>

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E., & Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28(4), 583–597. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>

MMA (2017). Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017- 2030. Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

MMA (2018) Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático. Santiago, Chile

Möller, P., Muñoz-Pedrerros, A. (2014). Legal protection assessment of different inland wetlands in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 87(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0023-1>

Mora-Soto, A., Palacios, M., Macaya, E.C., Gómez, I., Huovinen, P., Pérez-Matus, A., Young, M., Golding, N., Toro, M., Yaqub, M., Macias-Fauria, M., (2020). A high-resolution global map of Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) forests and intertidal green algae (*Ulvophyceae*) with Sentinel-2 imagery. *Remote Sens.* 12, 694. <https://doi.org/10.3390/rs12040694>

Moreno-García, M. del C. (2019). The Microclimatic Effect of Green Infrastructure (GI) in a Mediterranean City: the Case of the Urban Park of Ciutadella (Barcelona, Spain). *Arboriculture & Urban Forestry* 45: 100–108.

Muñiz, I., Rojas, C. (2019). Urban form and spatial structure as determinants of per capita greenhouse gas emissions considering possible endogeneity and compensation behaviors. *Environmental Impact Assessment Review*, 76, 79–87

Murray, B.C., Pendleton, L., Jenkins, W.A., Sifleet, S. (2011). Green payments for blue carbon: Economic incentives for protecting threatened coastal habitats. *Nicholas Inst Environ Policy Solut Rep* NI 11(4).

Nahuelhual, L., Carmona, A., Lozada, P., Jaramillo, A., & Aguayo, M. (2013). Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile. *Applied Geography*, 40, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.004>

Nicol, S., Bowie, A., Jarman, S., Lannuzel, D., Meiners, K. M., & Van Der Merwe, P. (2010). Southern Ocean iron fertilization by baleen whales and Antarctic krill. *Fish and Fisheries*, 11(2), 203–209.

ODEPA (2019). *Panorama Agricultura Chilena*. NbS.odepa.gob.cl

ODEPA/INFOR. (2010). Potencial de mitigación del cambio climático asociado a la Ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Informe Final, 96 p.

Oyarzo-Miranda, C., Latorre, N., Meynard, A., Rivas, J., Bulboa, C., & Contreras-Porcía, L. (2020). Coastal pollution from the industrial park Quintero bay of central Chile: Effects on abundance, morphology, and development of the kelp *Lessonia spicata* (Phaeophyceae). *PloS one*, 15(10), e0240581.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G., Smith, P. (2016) Climate – smart soils. *Nature* 532, 49 – 57.

Pedersen, M. F., Filbee-Dexter, K., Frisk, N. L., Sárossy, Z., & Wernberg, T. (2021). Carbon sequestration potential increased by incomplete anaerobic decomposition of kelp detritus. *Marine Ecology Progress Series*, 660, 53–67.

Pendleton, L, Donato DC, Murray BC, Crooks S, Jenkins WA, et al. (2012). Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE* 7(9): e43542. doi:10.1371/journal.pone.0043542

Pérez-Matus, A., Carrasco, S., Gelcich, S., Fernández, M. & Wieters, E. (2017). Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. *Ecosphere*, 8(5): e01808. doi: 10.1002/ecs2.1808.

Peters, J. F., Iribarren, D., & Dufour, J. (2015). Biomass pyrolysis for biochar or energy applications? A life cycle assessment. *Environmental science & technology*, 49(8), 5195-5202.

Pfister, C.A., Berry, H.D, Mumford, T. (2018).The dynamics of Kelp Forests in the Northeast Pacific Ocean and the relationship with environmental drivers. *J. Ecol.*; 106: 1520– 1533. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12908>

Picón, C., Contreras, C., Reyes-Paecke, S., De la Barrera, F., Berrizbeitía, A., & Truffello, R. (2020) Cerros isla: piezas clave para la planificación ecológica de ciudades. Informe de Síntesis Workshop 1. Realizado el 25.08.2020 Santiago , Chile.

Plan Verde y de la Biodiversidad DE Barcelona. Online <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/ciudad-verde-y-biodiversidad/plan-verde-y-la-biodiversidad>

Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar , 6ª edición. In *Ramsar* (Vol. 6). <http://www.ramsar.org>

Rehbein, Jose A., Gabriela Encalada, and Jorge Barbosa (2020) Propuesta de hoja de ruta para el carbono azul en Chile. Washington, DC: World Bank.

Reed, D.C., Rassweiler, A., Arkema, K.K. (2008). Biomass rather than growth rate determines variation in net primary production by giant kelp. *Ecology* 89: 2493–2505.

Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C. & Pino, J. (2019). Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: lessons for sustainable land use planning. *Land Use Policy*, 80, 47 - 56.

Rojas, C., Podvin, K., Barbosa, O. (2019). Desafíos y oportunidades para un desarrollo urbano sustentable, equitativo y resiliente. En: Koleff, P., Figueroa, A., Saavedra, B., Rojas, C., Lehm, Z., Tironi M., et. al (2019). Biodiversidad, Género y Cambio Climático: Propuestas basadas en conocimiento. Iniciativa Latinoamericana y el Caribe. Santiago de Chile, 19-26.

Rojas, O., Zamorano, M., Saez, K., Rojas, C., Vega, C., Arriagada, L., & Basnou, C. (2017). Social perception of ecosystem services in a coastal wetland post-earthquake: A case study in Chile. *Sustainability*, 9(11), 1983.

Roleda MY & CL Hurd. (2012). Seaweed responses to ocean acidification, in: Wiencke, C. et al. (Ed.) Seaweed biology: Novel insights into ecophysiology, ecology and utilization. Ecological Studies, 219: 407-431.

Roman, J., & McCarthy, J.J. (2010). The whale pump: Marine mammals enhance primary productivity in a coastal basin. PLoS ONE 5(10): e13255. doi:10.1371/ journal.pone.0013255.

Rosa-Schleich, J., Loos, J., Mußhoff, O., Tschardtke, T., (2019). Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. Ecol. Econ. 160, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.002>

Rosman, J. H., Denny, M. W., Zeller, R. B., Monismith, S. G., & Koseff, J. R. (2013). Interaction of waves and currents with kelp forests (*Macrocystis pyrifera*): Insights from a dynamically scaled laboratory model. *Limnology and oceanography*, 58(3), 790-802

Romero, H., Méndez, M., & Smith, P. (2012). Mining development and environmental injustice in the atacama desert of Northern Chile. *Environmental Justice*, 5(2), 70–76. <https://doi.org/10.1089/env.2011.0017>

Rowe, P. M., Cordero, R. R., Warren, S. G., Stewart, E., Doherty, S. J., Pankow, A., & Neshyba, S. (2019). Black carbon and other light-absorbing impurities in snow in the Chilean Andes. *Scientific reports*, 9(1), 1-16.

Saavedra, F. A., Kampf, S. K., Fassnacht, S. R., & Sibold, J. S. (2018). Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. *The Cryosphere*, 12(3), 1027-1046.

Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D. et al. (2021). Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z>.

Sallée, J.B, R. J. Matear, S. R. Rintoul & A. Lenton (2012). Localized subduction of anthropogenic carbon dioxide in the Southern Hemisphere oceans. *Nat. Geosci.* 5. [do/10.1038/ngeo1523](https://doi.org/10.1038/ngeo1523).

Schlegel, B., Little C., Urrutia, M., Hernández, G., & Pasten, R. (2020). Incorporando la multifuncionalidad en la evaluación económica de proyectos de restauración de bosques nativos siempreverdes en el sur de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile* 26, 1.

Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120.

Stanley, P., Rowntree, J., Beede, D., DeLonge, M., Hamm, M. (2018). Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agricultural Systems* 162, 249–258

Sun, R., Chen, A., Chen, L., & Lü, Y. (2012). Cooling effects of wetlands in an urban region: The case of Beijing. *Ecological Indicators*, 20, 57–64.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.006>

The Blue Carbon Initiative (s.f.). Disponible en <https://www.thebluecarboninitiative.org/>

The Nature-Based Solutions for Climate Manifesto (2019). The Nature-Based Solutions for Climate Manifesto, 2019. Developed for the UN Climate Action Summit 2019. *UN Secretary General Climate Action Summit*.

Thorslund, J., Jarsjo, J., Jaramillo, F., Jawitz, J. W., Manzoni, S., Basu, N. B., Chalov, S. R., Cohen, M. J., Creed, I. F., Goldenberg, R., Hylin, A., Kalantari, Z., Koussis, A. D., Lyon, S. W., Mazi, K., Mard, J., Persson, K., Pietro, J., Prieto, C., ... Destouni, G. (2017). Wetlands as large-scale nature-based solutions: Status and challenges for research, engineering and management. *Ecological Engineering*, 108, 489–497.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.012>

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 230, 150–161.

Torres, R, S Pantoja, N Harada , HE González, G Daneri, M Frangopulos, JA Rutllant, CM Duarte, S Ruiz Halpern, E Mayol, M Fukasawa (2011). Air sea CO2 fluxes along the coast of Chile: From CO2 outgassing in central northern upwelling waters to CO2 uptake in southern Patagonian fjords. *Geophysical Research Oceans* 116(C09006). <https://doi.org/10.1029/2010JC006344>.

UICN (2020). Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco fácil de usar para la verificación, diseño y ampliación de las soluciones basadas en la naturaleza. 1ra ed. Gland, Suiza, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

UNCCD (1994). United Nations Convention to Combat Desertification. UN Campus, Bonn, Germany

Vásquez, J. A., Zuñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D. C., & Vega, J. A. (2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology*, 26(2), 1081-1088.

Vergara Asenjo, G. E., Schlegel Heldt, B. C., Little Cárdenas, C. L., Stuenkel, M., Caroline, M., & Mujica Hoefelmayer, R. F. (2019). ¿ Degradación o degradado? Necesidad de una propuesta conceptual para recuperar la funcionalidad y capacidad productiva de los bosques nativos de la zona centro sur de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile* 25 (1), Abril 2019.

Villa, J. A., & Bernal, B. (2018). Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework. *Ecological Engineering*, 114, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.037>

Westermeier R, P Murúa, D Patiño, L Muñoz, C Atero & D Müller. 2014. Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile. *Journal of Applied Phycology*. 26: 511–518.

Westermeier R, P Murúa, Patiño J, Muñoz L & Müller D. 2016. Holdfast fragmentation of *Macrocystis pyrifera* (integrifolia morph) and *Lessonia berteroa* in Atacama (Chile): a novel approach for kelp bed restoration. *Journal of Applied Phycology*. 28: 2969–2977.

Westermeier, R., Murúa, P., Patiño, D. J., Muñoz, L., Ruiz, A., Atero, C., Müller, D.G. 2013. Utilization of holdfast fragments for vegetative propagation of *Macrocystis integrifolia* in Atacama, Northern Chile. *J. Appl. Phycol.* 25(2), 639–642.

Wilson, R., N. F. Glasser, J. M. Reynolds, S. Harrison, P. I. Anaconda, M. Schaefer & S. Shannon. (2018). Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Glob. Planet. Change*, 162, 275–291.

Xiang, Y. A. N., Jin, J. Y., Ping, H. E., & Liang, M. Z. (2008). Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency. *Agricultural Sciences in China*, 7(4), 469–479.

Xu, S., Liu, X., Li, X., & Tian, C. (2019). Soil organic carbon changes following wetland restoration: A global meta-analysis. *Geoderma*, 353(July), 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.027>

Yang, H., Tang, J., Zhang, C., Dai, Y., Zhou, C., Xu, P., Perry, D. C., & Chen, X. (2020). Enhanced Carbon Uptake and Reduced Methane Emissions in a Newly Restored Wetland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(1). <https://doi.org/10.1029/2019JG005222>

Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>

Zúñiga-Jara, S., F. Tala, A. Vega, N. Piaget & J. A. Vásquez. (2009). Valor económico de los bosques de Algas Pardas en las costas III Y IV Región de Chile. *Gestión Ambiental* 18: 63–86.

## 8. Anexos

### 8.1. ANEXO 1: Selección de respuestas recibidas a la consulta sobre Soluciones Basadas en Naturaleza.

Se eliminaron respuestas duplicadas, con poca información específica y respuestas referidas a generar instituciones para la gestión de recursos y educación; también se editaron algunos textos para hacerlos más breves (en particular la columna "Financiamiento") y no se incluyeron las columnas "fundamento", "ámbito de aplicación" ni "implementación" por falta de información y espacio. La consulta se llevó a cabo mediante un formulario online abierto y disponible entre el 23 de noviembre y el 1 de diciembre del 2020, distribuido a todos los contactos contenidos en la base de datos del comité científico de cambio climático (alrededor de 650 investigadores).

CATEGORÍA	NOMBRE	OBJETIVO	EFFECTO ESPERADO	CO-BENEFICIOS	NORMAS	ENCARGADO	FINANCIAMIENTO
Agricultura	Nuevas formulaciones de fertilizantes nitrogenados	Reducir las emisiones de N2O desde el suelo	Reducción de emisiones de N2O	Aumento del retorno económico para el productor	Norma de calidad de fertilizantes, nueva ley de suelos (en redacción)	SAG, INDAP	Público-Privado
Agricultura	Secuestro de Carbono en los suelos	Mitigación del Cambio climático	Reducción del CO2 atmosférico	Mejoramiento de la fertilidad, actividad biológica y capacidad de almacenamiento	Incentivos para prácticas de secuestro de carbono	Ministerio de Agricultura, SAG, INDAP	Público

				nto de agua de los suelos, reducción de la erosión.			
Agricultura	Reducción de la contaminación de suelos y aguas por metales pesados y metaloides	Mejorar la salud de los suelos y agua	Mantener el ecosistema microbiológico del suelo y agua	Propiciar el potencial de producción de los cultivos	Generación de Normas Secundarias para cursos de Agua superficial y subterránea. Normas de calidad de suelo.	Ministerio de Obras Públicas (ejecución); Ministerios Medio Ambiente, Salud y Agricultura (fiscalización)	Público
Agricultura	Conservación de la biodiversidad en terrenos agrícolas	control de plagas, fomentar la polinización	prevenir la pérdida de biodiversidad y sus servicios	agricultura más sostenible y menos intensiva, eliminando el uso indiscriminado de insumos	En la actualidad, no hay normas mandatorias (leyes) que obliguen a preservar hábitats en paisajes agrícolas y hacer un mejor manejo. Estas normas	Campesinos, Ministerio de Medio Ambiente, ONGs, Municipalidades, Ministerio de Agricultura	Público-Privado

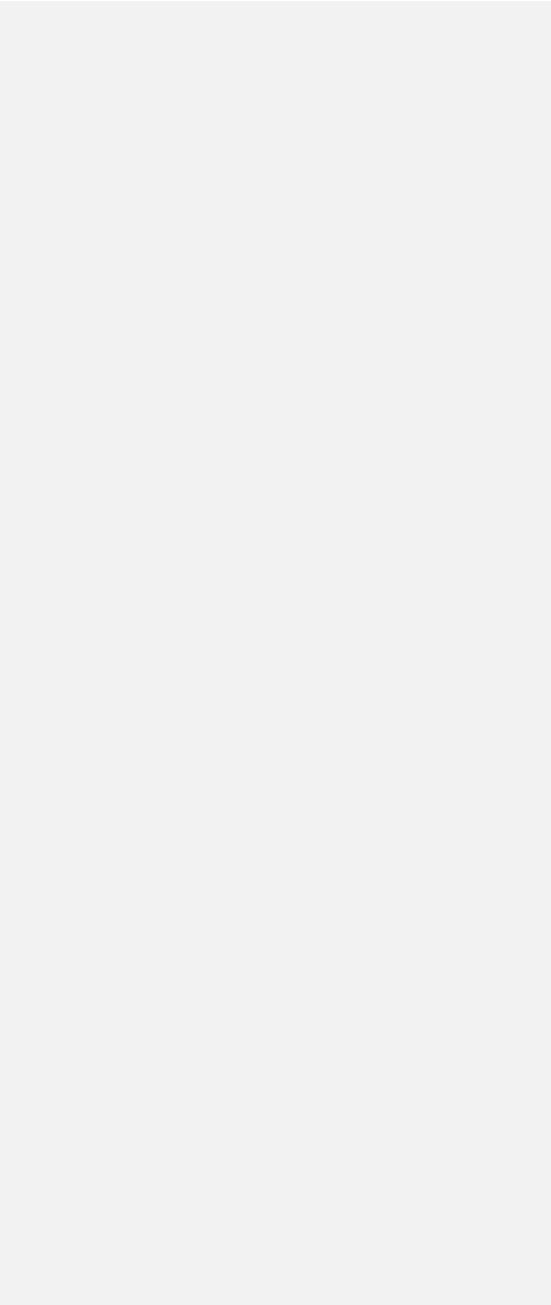
					existen en otros países como Brasil (se debe preservar 30% del hábitat nativo) o en Argentina.		
Protección de la naturaleza	Protección de los recursos genéticos naturales	Evitar la erosión de la diversidad genética, y las alteraciones a los patrones de distribución espacial de esta, para retener adaptaciones locales y el potencial evolutivo frente a cambios ambientales.	Prevenir la extinción de las poblaciones, la alteración de los patrones espaciales de su distribución, y reforzar su potencial evolutivo		No hay	SAG, SERNAPESCA, otros	Público

Bosques	Reforestación de gran escala y sustitución de especies	mejorar el secuestro de CO2	secuestro de CO2 ,disminuir erosión, aumentar biodiversidad	reducir puntos de calor en ciudades gracias a la reforestación de áreas urbanas, mejorar la calidad de vida.		Ministerio de Medio Ambiente	Público-Privado
Bosques	Plantación de especies vegetales nativas o fitorreparadoras de suelo en laderas para evitar erosión y desprendimientos de tierra	Mejorar el suelo de laderas, evitar erosión, evitar riesgos de desprendimiento de tierra y aumentar el secuestro de carbono	Mejorar el sustrato, evitar erosión, mejorar el ciclo de nutrientes y aumentar la captura de carbono.	adaptación del cambio climático por escorrentía o desprendimientos en masa por derretimiento de nieves o lluvias fuera de temporada.			

Ciudades	Captación de aguas atmosféricas	Incrementar la disponibilidad hídrica (seguridad hídrica) para comunidades en zonas costeras mediante la implementación de atrapanieblas que interceptan la neblina costera.	Mitigación de escasez hídrica en zonas costeras de Chile				
----------	---------------------------------	--	--	--	--	--	--

Ciudades	Biodigestión de residuos orgánicos	Evitar emisiones de metano, gestión de la basura orgánica (desinfección, desodorización, control de vectores, reducción del espacio de gestión, estabilización de los residuos, mineralización de nutrientes)	Reducción sustantiva de la huella de carbono de la gestión de residuos, generación de biocombustible sustituto de fósiles o biomasa fotosintética. Disminución de lixiviados (contaminación de suelo y napas),	Menor transporte de basura, potenciación de reciclaje de inorgánicos, disminución de riesgos en vertederos (vectores: aves, roedores, combustión espontánea), potenciación del reciclaje de nutrientes, aporte de materia orgánica al suelo, promoción de la autonomía energética y de fertilizantes. Disminución de infecciones	La tecnología se acaba de normar en forma oficial. Lamentablemente, se toman estándares extranjeros, por lo que la norma constituye una gran barrera de entrada (restricciones y costos)	Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Ministerio de Medio Ambiente	Público-Privado
----------	------------------------------------	---	--	--	--	---	-----------------

				vía vectores, mayor resiliencia del suelo por aporte de nutrientes, mayor productivida d y almacenaje de agua.			
--	--	--	--	--	--	--	--

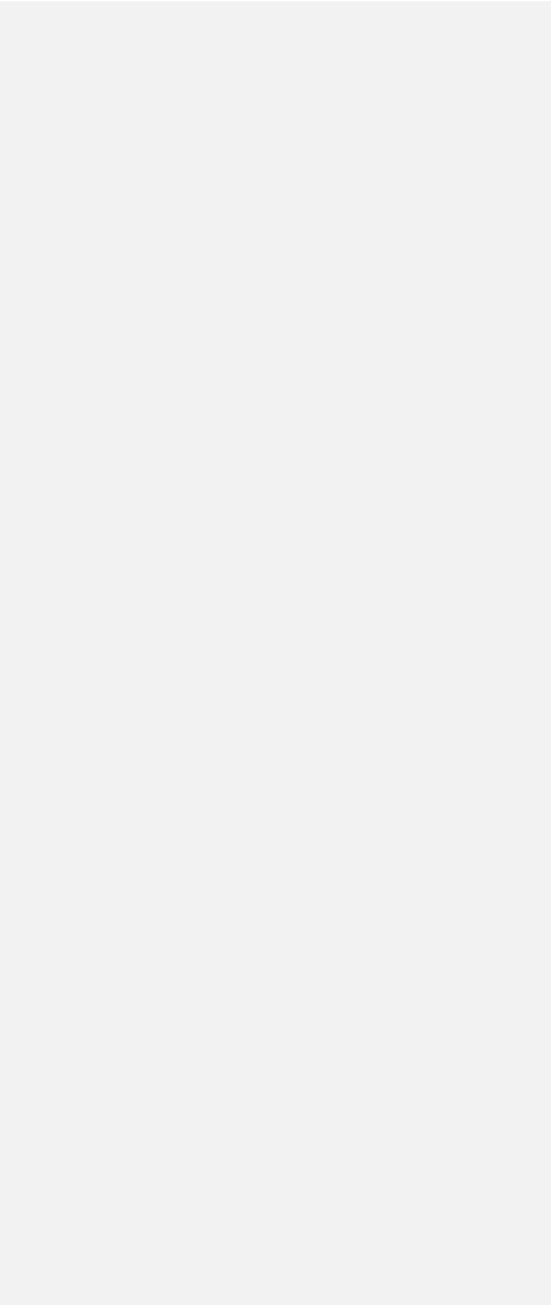


Ciudades	Regulación de servicios ecológicos por población en áreas urbanas	Lograr equilibrios en las zonas de habitación humana, integrando servicios ecosistémicos a una escala equivalente a los usos de un territorio dado	Aumentar la sostenibilidad de los ecosistemas en zonas urbanas, donde vive la mayoría de la población chilena	reducción de la temperatura de las ciudades	Requiere descentralizar la gestión territorial en Chile, facultando a gobiernos regionales y locales a coordinar medidas; OGUC.	Gobiernos regionales en conjunto con gobiernos locales, con participación ciudadana vinculante	Público-Privado
Ciudades	Biofiltros	Tratamiento de aguas lluvias/escorrentía urbana	Prevenir Inundaciones, efectos negativos en la calidad del agua de cuerpos receptores finales (ríos, lagos)				Público-Privado

Agricultura	Siembra y fertilización de grandes extensiones.	Recuperación acelerada de grandes extensiones de suelos degradados por erosión, incendios forestales, aluviones, etc.	Recuperación acelerada de grandes extensiones de suelos degradados por erosión, incendios forestales, aluviones, etc.			CONAF, privados	Público-Privado
-------------	---	---	---	--	--	-----------------	-----------------

<p>Protección de la naturaleza</p>	<p>Protección y restauración de cabeceras de cuenca y corredores ribereños (mínimo 30 metros, hasta 200m en ríos grandes)</p>	<p>Recuperación de zonas prioritarias para el correcto funcionamiento de ecosistemas de agua dulce</p>	<p>Provisión de agua. Calidad de agua. Prevención de la erosión. Protección del hábitat y conectividad entre parques de bosque nativo para especies de fauna y flora.</p>		<p>La Ley de Bosque Nativo prohíbe la tala de bosque hasta 30 m de un curso de agua. La Ley 18.378 sobre distritos de conservación de suelos, bosques y aguas, establece que el Presidente puede decretar la prohibición de cortar los árboles situados hasta a 100 m de las orillas de ríos y lagos. El DFL 1600 (1931) establece que el propietario cede</p>	<p>Empresas forestales y agrícolas. CONAF. Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas.</p>	<p>Público-Privado</p>
------------------------------------	---	--	---	--	--	--	------------------------

					gratuitamente al Fisco una faja de hasta 25 m de terreno firme en la ribera de los ríos y lagos (art 34).		
--	--	--	--	--	---	--	--

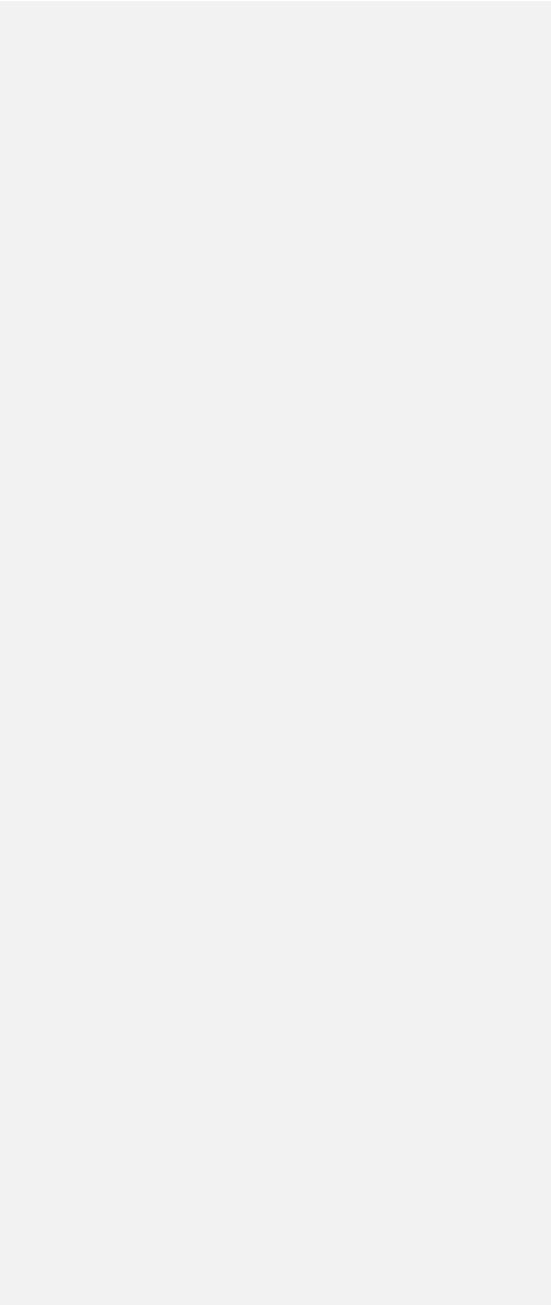


Protección de la naturaleza	Recarga artificial de aguas subterráneas	Recuperar el almacenamiento de aguas subterráneas, para garantizar la existencia de caudales base que alimenten los ecosistemas dependientes de aguas subterráneas	Afectación de humedales y otros ecosistemas dependientes de aguas subterráneas	Reducción de conflictos sociales		Mesa de trabajo regional	Público
Ecosistemas marinos	Disminuir cuotas de pesca	Dejar más biomasa en el agua.	Recuperación de pesquerías	Mayor capacidad para afrontar efectos del cambio climático y El Niño. La menor oferta aumenta los precios y el beneficio socio-económico puede ser incluso mayor.	Cambios en la Ley de Pesca y Acuicultura.	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura	Público

Protección de la naturaleza	Proteger los ríos	Limitar la degradación de los ecosistemas de agua dulce	Reducción de la degradación y transformación de riberas de ríos por usos agrícolas y antrópicos	Gestionar de escurrimientos hídricos superficiales durante eventos catastróficos y sequías, control de recurso mediante modelos hidro-geológicos del impacto de usos de aguas de acuíferos (para evitar que sequen ríos y humedales aledaños)	Es mixto, MMA, SERNAGEOMIN; AGRICULTURA (Regulación de ganado) y DGA, deben estar asociados	Guarda pescas, guardabosques, ministerio de Agricultura y turismo	Público
-----------------------------	-------------------	---	---	---	---	---	---------

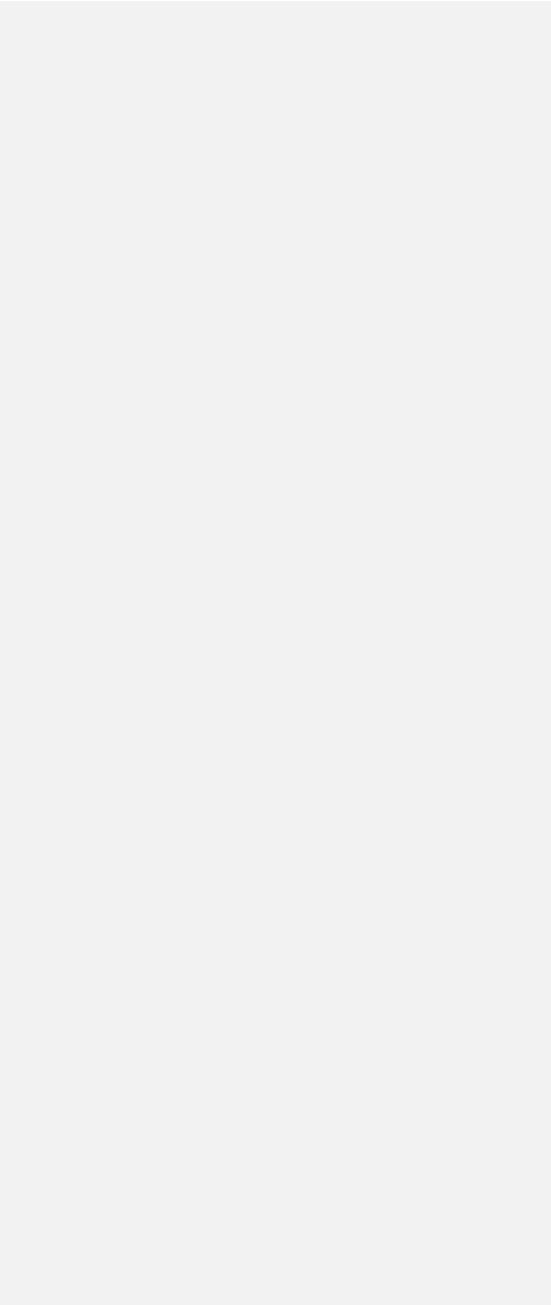
Humedales	Humedales Construidos (o artificiales) para la depuración de aguas residuales	Generar procesos de depuración basados en más ecología y menos tecnología	Los humedales construidos permiten un buen tratamiento de riles a muy bajo costo de operación y con alta resiliencia, con menor huella de carbono, mejor gestión del agua y secuestro de carbono por parte de las plantas acuáticas.	Fomento a la biodiversidad de ecosistemas amenazados, y sistemas de transición con ecosistemas naturales. Los humedales construidos también implican un aporte al paisaje, tanto en términos escénicos como por la vida que albergan. Humedales construidos en el ambiente urbano contribuirían al control de los flujos hidrológicos,	DS. 90 Nueva ley de Humedales Urbanos , Ley 21.202, Reglamento en curso. Ordenanzas Municipales (Valdivia),	DGA, Servicio de Salud	Público
-----------	---	---	--	--	---	------------------------	---------

				regulando inundaciones y a la termoregulación, entregando humedad en los meses cálidos/secos, razón por la que se han promocionado con el concepto de "ciudades esponja".			
--	--	--	--	---	--	--	--



<p>Protección de la naturaleza</p>	<p>Restricción de intervenciones en el ámbito de la criósfera andina, especialmente en las zonas áridas y semiáridas.</p>	<p>Impedir efectos directos e indirectos que modifiquen o alteren la evolución y dinámica natural del glaciostema como parte fundamental del hidrosistema.</p>	<p>Evitar la pérdida de funciones ambientales, hidrológicas, climáticas, socioeconómicas y de calidad de vida por destrucción o degradación de cuerpos de hielo, campos de neviza y de penitentes derivadas de la actividad humana.</p>	<p>Asegurar el suministro hídrico natural de aguas de consumo directo por parte de las comunidades y del riego de zonas áridas y semiáridas. Incrementar la disponibilidad de tiempo para el diseño e implementación práctica de medidas de adaptación ambientalmente sustentables. Asegurar la continuidad de la actividad productiva</p>	<p>Se requieren modificaciones al código de aguas para que estas dejen de ser propiedad de personas o grupos privados que la han convertido en un bien comercial y al código de minería que, entre otros, no pueda adueñarse gratuitamente de las aguas alumbradas en sus faenas. Se requiere, además, que se consideren medidas compensatorias en relación directa con el daño o</p>	<p>Ministerio del Medioambiente con apoyo de la DGA-MOP</p>	<p>Público</p>
------------------------------------	---	--	---	--	---	---	----------------

				de los valles, la disponibilidad de agua para beber y para higiene, y el resguardo de los patrimonios culturales.	impacto ocasionado a los ecosistemas andinos, y que se resgarde la seguridad de los habitantes y territorios agua abajo de este tipo de faenas.		
--	--	--	--	--	---	--	--



<p>Protección de la naturaleza</p>	<p>Conservación de turberas</p>	<p>i. Conservar los reservorios de carbono de las turberas Patagónicas ii. Restaurar la capacidad de sumidero de carbono en turberas degradadas</p>	<p>i. Pérdida de depósitos de carbono y sus registros paleoecológicos. s. ii. Pérdida de flora y fauna endémica de las turberas de la Patagonia</p>			<p>Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia</p>	<p>Público</p>
------------------------------------	---------------------------------	---	---	--	--	--	----------------

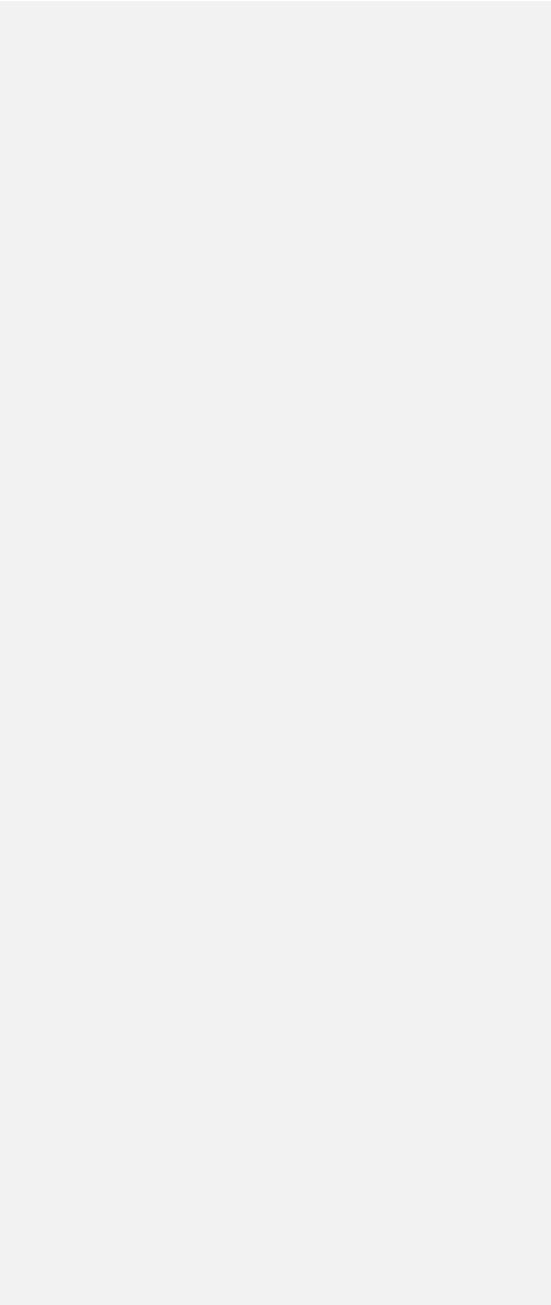
<p>Protección de la naturaleza</p>	<p>Protección a Bosques Primarios</p>	<p>Establecer que es de interés público conservar y proteger los bosques primarios alojados en Patagonia chilena, como medidas de solución basadas en la naturaleza, que abarca aspectos conjuntos de mitigación y adaptación al cambio climático. Mantener y/o aumentar la superficie de bosques primarios en estado de conservación.</p>	<p>Los bosques primarios de Patagonia chilena (incluyendo superficie fiscal) se encuentran amenazados por ocupaciones ilegales, tala de árboles para leña, erosión de suelo por deforestación, pérdida de biodiversidad por introducción de ganadería y/o tala para construcción de caminos. Se busca prevenir la sustitución de bosques primarios por plantaciones forestales con</p>	<p>Los bosques primarios juegan un rol esencial como refugios climáticos para especies que permitan su adaptación en oposición a la extinción. Además, entregan servicios ecosistémicos como el suministro de agua potable y de riego, prevenir el deterioro de las cabeceras de cuenca, control de inundaciones, hábitat y biodiversidad, y servicios</p>	<p>Se propone establecer por medio de un Decreto del Ministerio de Bienes Nacionales, una designación de estas superficies como áreas de alto valor ambiental considerando sus funciones ecosistémicas de mitigación y adaptación al cambio climático como "solución basada en la naturaleza". Para evitar la sustitución de bosques primarios, se podría prohibir por medio de la</p>	<p>Ministerio de Medio Ambiente, CONAF, SEA, Ministerio de Bienes Nacionales, Ministerio de Energía.</p>	<p>Público</p>
------------------------------------	---------------------------------------	--	--	--	--	--	----------------

			<p>especies introducidas, como el pino y eucaliptus, y fomentar la captura de CO2.</p>	<p>culturales que colectivamente proporcionan valores económicos y no económicos a las comunidades que dependen de ellos.</p>	<p>Ley de Bosque Nativo el reemplazo de bosques primarios por las plantaciones forestales con especies introducidas. Se debería reconocer en la normativa existente asociada al Servicio de Evaluación Ambiental para generar un instructivo respecto de la protección de los bosques primarios dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.</p>		
--	--	--	--	---	--	--	--

Protección de la naturaleza	Regular las fuentes emisoras de material particulado y polvo en áreas cercanas a glaciares, buscando disminuir el efecto de la deposición de estos elementos sobre el albedo glaciar y de las nieves de las altas cumbres.	Protección de glaciares en las cabeceras de las cuencas, de las cual depende gran parte del caudal de los ríos de los andes centrales en años secos.	Prevenir la disminución acelerada de las masas glaciares en la cordillera de los Andes, con consecuencias catastróficas en la provisión de agua dulce para consumo humano, desarrollo ecosistémico, etc..		se debe analizar el proyecto de ley de glaciares		Público
-----------------------------	--	--	---	--	--	--	---------

Ecosistemas marinos	"refugios climáticos" en ambientes marinos	Identificar y crear zonas de "refugios climáticos" como figuras de protección de la naturaleza, en que se protegen áreas con poca variabilidad en los componentes de su biodiversidad ante el cambio climático. Estos espacios permitirán ser refugio para mantener ecosistemas y/o especies.	Evitar la extinción de especies y ecosistemas amenazados por el cambio climático, introduciendo este último como principal variable de estrés ambiental para crear nuevas áreas protegidas, especialmente marinas y costero-marinas. Se busca corregir la subestimación de los servicios ecosistémicos de sumidero de carbono del océano y la desnaturalización de los	Desarrollo de investigación científica en aspectos poco desarrollados, como la elaboración de métricas asociadas a la captura de CO2 de los océanos y métricas para la adaptación. Desarrollo y fortalecimiento de comunidades humanas aledañas en torno a actividades económicas sustentables que permitan desarrollo local. Desarrollo y fortalecimiento de	Nueva figura de protección requería ajustarse a las actuales normativas de la protección de espacios costeros, marinos y/o terrestres según corresponda.	CONAF y/o Ministerio de Medio Ambiente, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y/o, Bienes Nacionales, según corresponda, para espacios costero-marinos.	Público-Privado
---------------------	--	---	--	---	--	--	-----------------

			ecosistemas marinos y costeros.	actividades económicas como el turismo de naturaleza			
--	--	--	---------------------------------	--	--	--	--

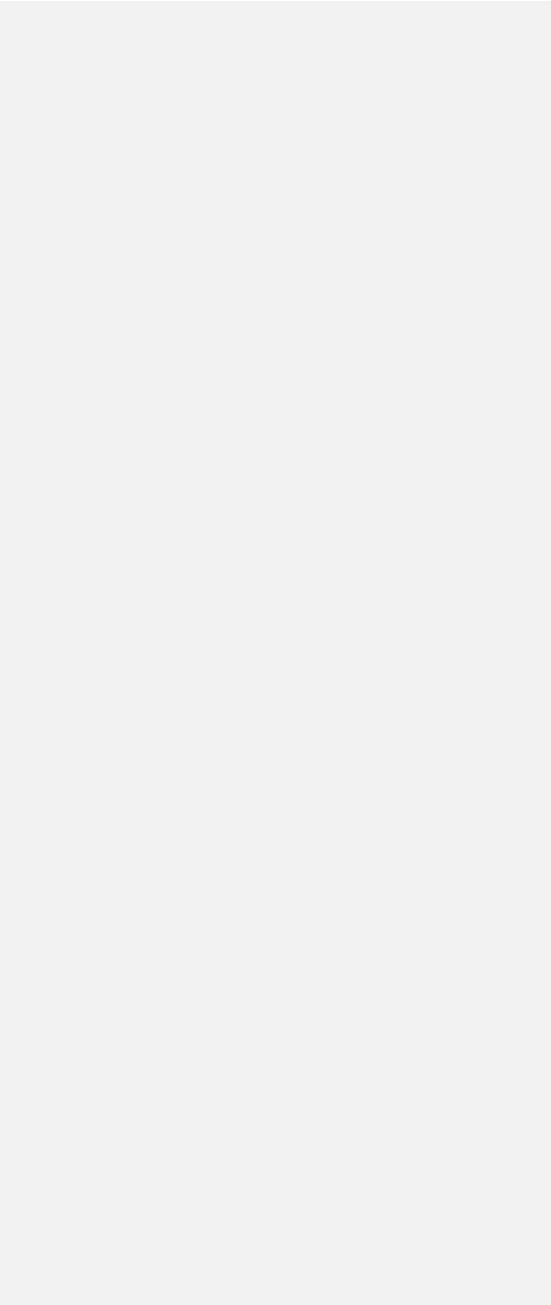


Ecosistemas marinos	Regular la minería submarina	Evitar, controlar o disuadir la remoción del fondo marino donde se registra presencia de hidrato de metano	Posible liberación de metano		Se sugiere adoptar un enfoque precautorio. Aunque en la actualidad la extracción de hidrato de metano del fondo del océano no está desarrollada de manera eficaz, debe tenerse en cuenta que es altamente inestable y en su extracción es poco probable que no se libere		
---------------------	------------------------------	--	------------------------------	--	--	--	--

Ecosistemas marinos	Promoción del enfoque ecosistémico a la acuicultura	Producir alimentos acuáticos con baja huella de carbono y mínimos efectos en los ecosistemas, contribuyendo a la alimentación nacional de calidad y para la generación de empleo a través del mercado nacional y exportaciones	Minimizar la huella de carbono de la acuicultura (en sistemas abiertos en el mar) y minimizar los efectos negativos de la acuicultura alimentada (peces) sobre los ecosistemas, por aportes de nutrientes y riesgo de eutroficación de los cuerpos de agua que la contienen.	Mejorar y fortalecer la eficiencia productiva de la acuicultura (reducir costos, mejorar el crecimiento de los individuos, etc.) por unidad ecosistémica. Disminuir los riesgos sanitarios para la propia industria y sistemas productivos. Mejorar la adaptación a algunos de los forzantes del cambio climático, por ejemplo, al reducir las densidades	Las normativas actuales para la acuicultura chilena no consideran la implementación de un enfoque ecosistémico atendiendo a la capacidad de carga de los ecosistemas y a la necesidad de combinar estratégicamente sistemas productivos alimentados y extractivos	El estado posiblemente a través de un trabajo conjunto entre la Subsecretaría de Pesca y el Ministerio de Medio Ambiente	
---------------------	---	--	--	---	---	--	--

				<p>productivas en general los cultivos son menos vulnerables (Soto et al., 2019). Al considerar aspectos de circulación y procesamiento natural del carbono en los cuerpos de agua para planificar la ubicación y densidad de los centros de cultivo se incrementa la resiliencia de los cultivos. Contribuir a la conservación de la biodiversidad de comunidades bentónicas y</p>			
--	--	--	--	---	--	--	--

				pelágicas. Minimizar riesgos de eutroficación			
--	--	--	--	--	--	--	--



## 8.2. ANEXO 2: PARTICIPANTES DEL TALLER

GRUPO	NOMBRE	APELLIDO	AFILIACIÓN
CIUDADES	Jorge	Gironás	UC
CIUDADES	Juan Carlos	Muñoz	UC
CIUDADES	Cristóbal	Lamarca	Activa Valdivia
CIUDADES	Francois	Simon	UC
CIUDADES	Gilles	Flamant	UC
CIUDADES	Andrés	Muñoz-Pedreros	U Católica Temuco
CIUDADES	Margarita	Jans	U Diego Portales
AGRICULTURA	Rodrigo	Arias	UACH
AGRICULTURA	Pablo	Cornejo	UFRO
AGRICULTURA	Francisco Javier	Matus	UFRO
AGRICULTURA	Cristina	Muñoz	UDEC
AGRICULTURA	Francisco	Salazar	INIA
AGRICULTURA	Osvaldo	Salazar	UChile
AGRICULTURA	Eduardo	Arellano Ogaz	UC
AGRICULTURA	Rafael	Larraín	UC

BOSQUES	Pablo	Donoso	UACH
BOSQUES	Alfredo	Erlwein	UACH / TESES
BOSQUES	Jorge	Pérez Quezada	UChile
BOSQUES	Álvaro	Promis	UChile
BOSQUES	Christian	Little	INFOR
FUEGO	Andrés	Holz	Portland StateU
FUEGO	Rony	Pantoja	CONAF
FUEGO	Cecilia	Smith Ramírez	UACH
FUEGO	Francisco Javier	Matus	UFRO
HUMEDALES	Jorge	Hoyos	UMAG
HUMEDALES	Christel	Oberpour	UST
HUMEDALES	Carolina	León	UBO
HUMEDALES	Montserrat	Lara	FORECOS
HUMEDALES	Bárbara	Saavedra	WCS
HUMEDALES	Amerindia	Jaramillo	MMA
HUMEDALES	Roy	Mackenzie	UMAG
HUMEDALES	Jason	Sauer	UACH
HUMEDALES	Alejandra	Figuroa	Capital Biodiversidad
HUMEDALES	Andrea	Pino	UACH / TESES

HUMEDALES	Claudio	Valdovinos Zarges	UdeC
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Mauricio Alejandro	Palacios Subiabre	U Magallanes
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Gustavo	Chiang	Fundación MERI
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Rodrigo	Hucke-Gaete	UACH
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Alejandro	Pérez Matus	UC
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Stefan	Gelcich	UC
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Sylvain	Faugeron	UC
ECOSISTEMAS OCEÁNICOS	Alejandra	Mora Soto	
GLACIARES	Andrés	Rivera	UCHILE
GLACIARES	Jose Luis	Iriarte	IDEAL-UACH
GLACIARES	Raúl	Cordero	USACH
GLACIARES	Cesar	Cárdenas	INACH
GLACIARES	Lorena	Rebolledo	INACH